239

Service.

AUDI A2 - Carrosserie

Conception et fonctionnement

Programme autodidactique 239

réservé à l'usage interne

L'Audi Space Frame ASF® de l'A2

Les objectifs de conception de l'Audi A2

Economie de poids d'au moins 40 % sur la carrosserie par rapport à son homologue acier, posant les bases d'un futur véhicule de 3 litres.

Exploitation du potentiel de construction allégée.

Mesures

Réalisée grâce à une carrosserie aluminium de type Space Frame.

Conception rendue possible par mise en oeuvre des demi-produits perfectionnés de l'aluminium : pièces coulées, profilés extrudés et tôles.

SSP239_007

Rentabilité au niveau production pour la première fabrication en grande série d'un véhicule aluminium.

Cela a pu être réalisé par une méthode de conception permettant un degré d'automatisation élevé lors de la production de la coque nue.

Satisfaction des exigences les plus sévères en matière de rigidité et excellent comportement en cas de collision - "best in class".

Sommaire

Page

Aluminium : le matériau

Développement historique chez Audi 4
Fabrication 6
Propriétés 8
Recyclage 12

L'Audi Space Frame – ASF® de l'A2

Concept technique 14
Vue d'ensemble des ASF® - A8 et A2 16
Composants 18

Techniques d'assemblage

Vue d'ensemble 24
Méthodes de fabrication 25
Rivetage par poinçonnage 25
Hydroformage 26
Soudage au gaz inerte avec apport de métal 28
Soudage laser 29

Toit OPEN SKY

Conception et fonctionnement 34
Travaux de montage 38

Protection des occupants 39

Concept de réparation 46

Peinture 52

Rétrospective : technologie aluminium de l'A8

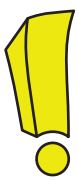
L'ASF® de l'Audi A8 54
Concept de réparation 58

Le Programme autodidactique renseigne sur la conception et le fonctionnement.

Le programme autodidactique n'est pas un Manuel de réparation !

Pour les travaux de maintenance et de réparation, toujours utiliser les ouvrages techniques les plus récents.

Nouveau !



Attention !
Nota !

Développement historique chez Audi

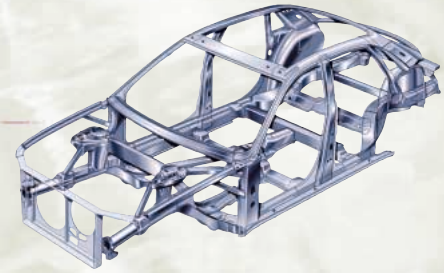
Concepts de véhicules

1999

Audi Space Frame A2
Audi A2

1994

Audi Space Frame A8
Audi A8



1991

Etude concept Avus quattro

1984

Etape préalable de la technique Space Frame

Véhicules en tôle d'aluminium Audi 100

1913

Véhicule aluminium NSU 8/24 Berline entièrement en aluminium, à propulsion

Audi Space Frame
sur l'Audi A2

1999

A6 : capot avant, ailes et
panneau arrière sur l'A6 V8 en
aluminium

TT : capot avant

1998

Carter-moteur
sur l'A6 1,8 l

Tôle intérieure de
porte
Audi A6

Carter-moteur
(1,6l) sur A3/A4 Avant

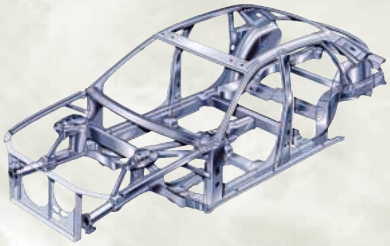
A6 : capot avant

1997

Jantes aluminium de série
sur A4/A6/cabriolet

Jantes aluminium de série sur A3
Carter d'huile aluminium sur V6 essence et TDI

1996



Audi Space Frame
ASF sur l'A8

Bras
transversal
Audi A8

1994

Carter-moteur
V8 4,2 l

1991

Tôle intérieure de
porte
Audi 100

Tôle anticollision
Audi 100

1990

Carter-moteur
V8 3,6 l

1988

Console de tableau de bord (V8)
en magnésium

Tôle intérieure de porte
Audi 80

1986

Tôle intérieure de
porte
Audi 100

Traverse de pare-chocs
sur l'Audi 100
en tôle d'aluminium

1982

SSP239_009

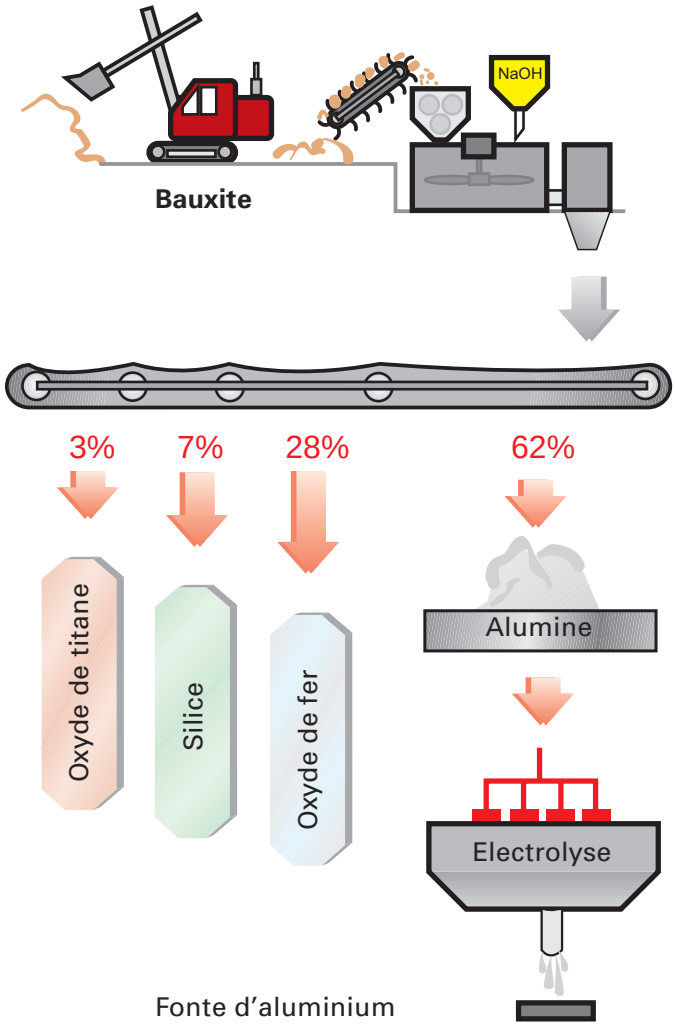
Aluminium : le matériau

Fabrication

La matière première de l'aluminium est la bauxite

– Il s'agit d'un produit d'évolution des roches silico-calcaires dans des conditions climatiques particulières.

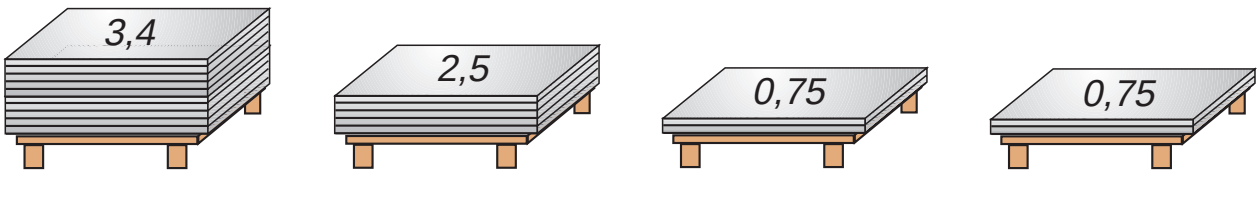
– Elle tire son nom du gisement des Baux-de-Provence (près d'Arles).



Il s'agit actuellement du métal le plus fréquemment utilisé après l'acier, bien qu'il ne soit passé dans le domaine industriel que depuis une centaine d'années.
La difficulté résidait dans son extraction du minerai, étant donné que l'aluminium forme avec l'oxygène une liaison oxydique très stable et ne peut donc pas, comme dans le cas du fer ou du cuivre, être extrait par fusion en utilisant le carbone comme auxiliaire.

Il a fallu attendre la dynamo de Werner von Siemens, vers la fin du 19e siècle, pour pouvoir produire de l'aluminium à l'échelle industrielle par voie électrolytique.

Production [in million de t, 1980] de différents pays producteurs



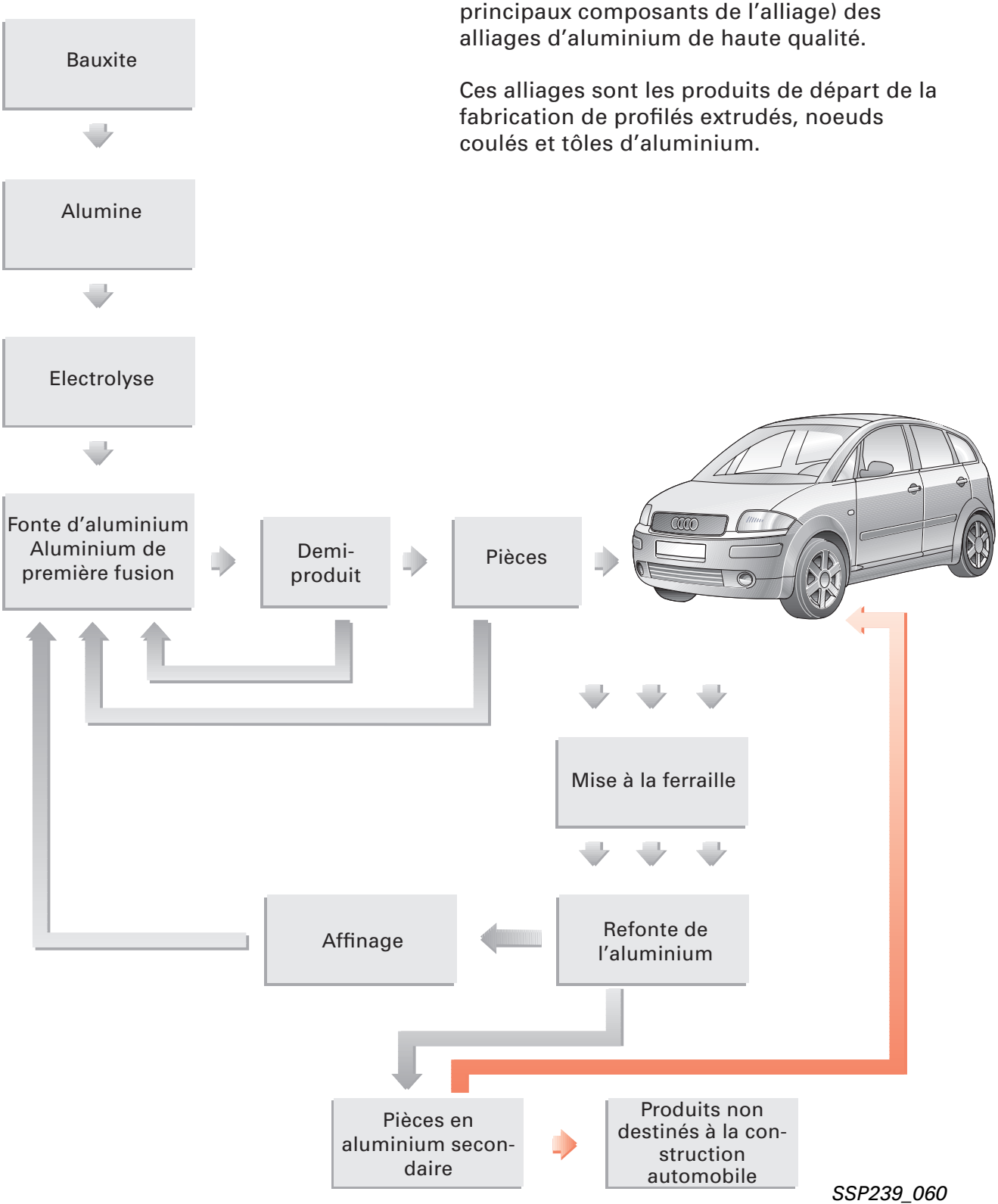
SSP239_069

Aluminium - production et recyclage

On requiert beaucoup d'énergie pour transformer la bauxite en alumine puis, par électrolyse, en aluminium de première fusion.

A partir de cet aluminium, on fabrique, par adjonction de magnésium et de silicium (les principaux composants de l'alliage) des alliages d'aluminium de haute qualité.

Ces alliages sont les produits de départ de la fabrication de profilés extrudés, noeuds coulés et tôles d'aluminium.



SSP239_060

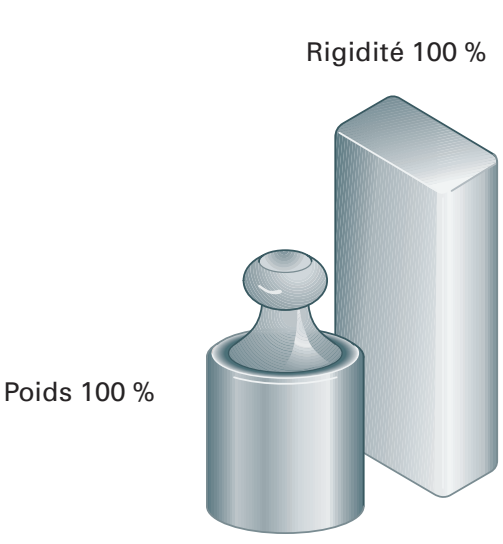
Propriétés

Avantages de l'aluminium

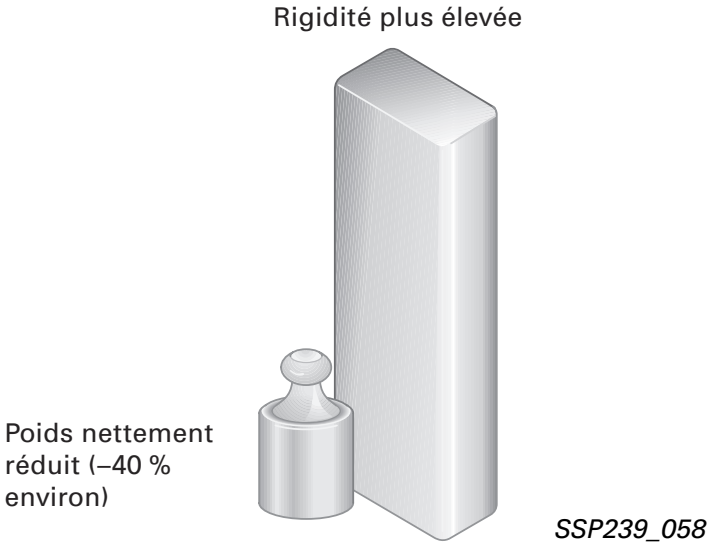
- Le poids spécifique de l'aluminium équivaut à 1/3 de celui de l'acier.
- En présence de l'oxygène de l'air, il forme une fine couche d'oxyde qui se renouvelle régulièrement et protège ainsi le matériau d'une attaque plus profonde.
- Les alliages d'aluminium peuvent être facilement revalorisés et retraités (recyclage).
- Le retraitement ne requiert que 5 % des besoins en énergie nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire.
- L'aluminium peut être recyclé plusieurs fois.
- Le matériau n'est pas toxique.
- Bonnes propriétés de résistance : résistance de 60 à plus de 500 N/mm^2.
- Bonne résistance chimique aux intempéries et à l'eau de mer.
- Excellente aptitude au formage.
- Tout à fait approprié pour les assemblages par soudage sous gaz de protection (MIG/TIG) et par rayonnement (soudage laser p. ex).

  MIG = soudage sous protection de gaz inerte avec métal d'apport
  TIG = soudage au tungstène et au gaz inerte
  Gaz inerte = gaz de protection

Acier en construction monocoque



Audi Space Frame ASF®



Poids de la carrosserie réduit d'environ 40 % pour une rigidité équivalente à celle d'une carrosserie acier.

Rigidité de la carrosserie ASF®

La rigidité plus élevée de la carrosserie aluminium par rapport à son homologue acier tient essentiellement à des sections plus importantes alliées à des conceptions de profilés adaptées.

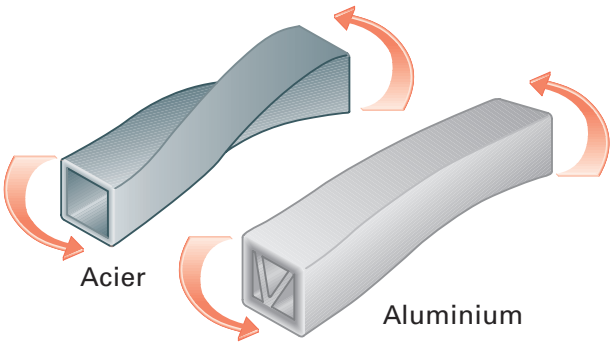
Ceci constitue la base d'une carrosserie aluminium rigide sur le plan statique comme dynamique.

De nouveaux procédés de fabrication dans la technologie des profilés extrudés, des tôles et de la coulée sont mis en oeuvre sur l'A2.

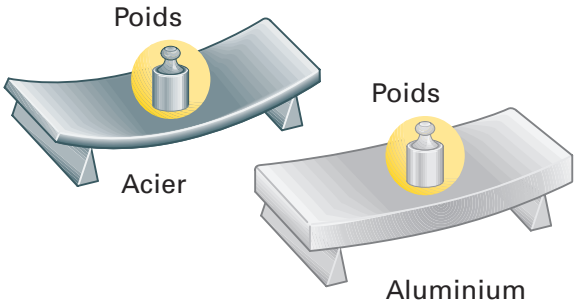
Chaque pièce de la coque nue est dimensionnée de manière optimale, sur le plan de la section comme du poids, en fonction de la sollicitation du matériau.

Il en résulte les carrosseries les plus légères de la catégorie de véhicules considérée, alliées à des valeurs de résistance à la torsion, à la flexion et au flambage optimales.

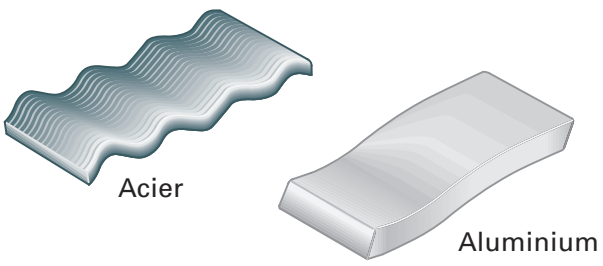
Résistance à la torsion



Résistance à la flexion



Résistance au flambage



SSP239_014

Aluminium : le matériau

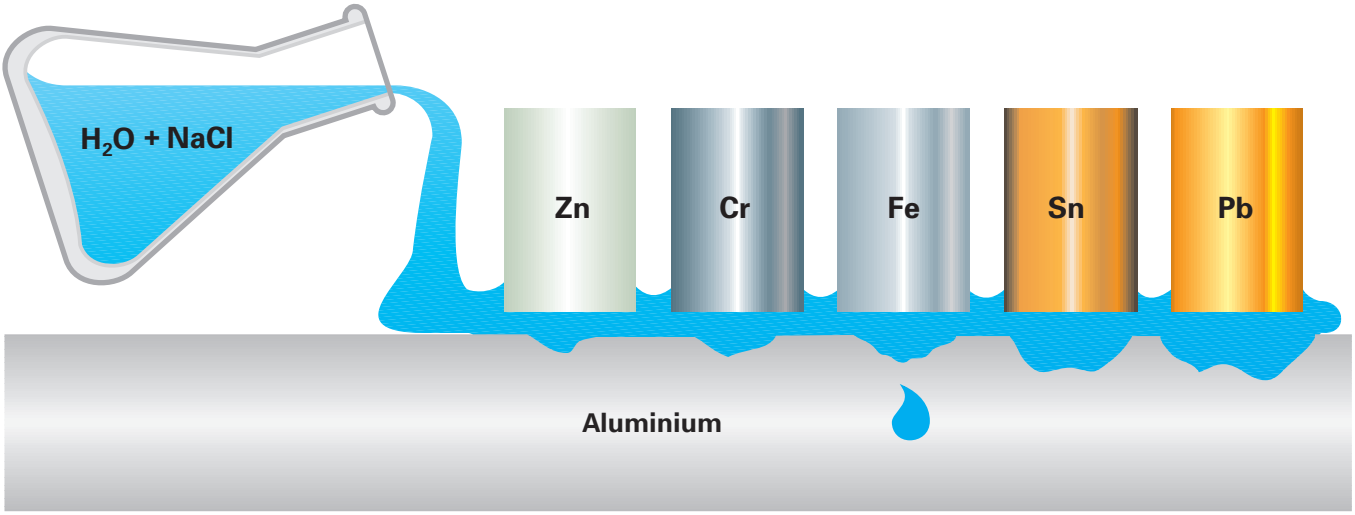
Chaîne de tension électrochimique

En cas de contact de métaux différents, espacés dans la série électrochimique des tensions, il se produit, en présence d'un électrolyte, une corrosion de contact.

Le métal de rang inférieur dans la série électrochimique des tensions est dissout.

La dissolution est d'autant plus importante que les métaux sont espacés dans la série électrochimique des tensions.

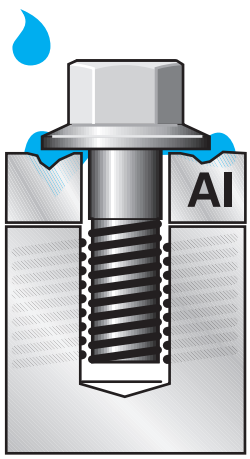
La corrosion de contact de l'aluminium provoque une dégradation rapide, des pièces minces notamment, au point de contact.



SSP239_052

Chaîne de tension électrochimique (extrait)

Plomb - Pb
Etain - Sn
Fer - Fe
Chrome - Cr
Zinc - Zn
Aluminium - Al



Corrosion

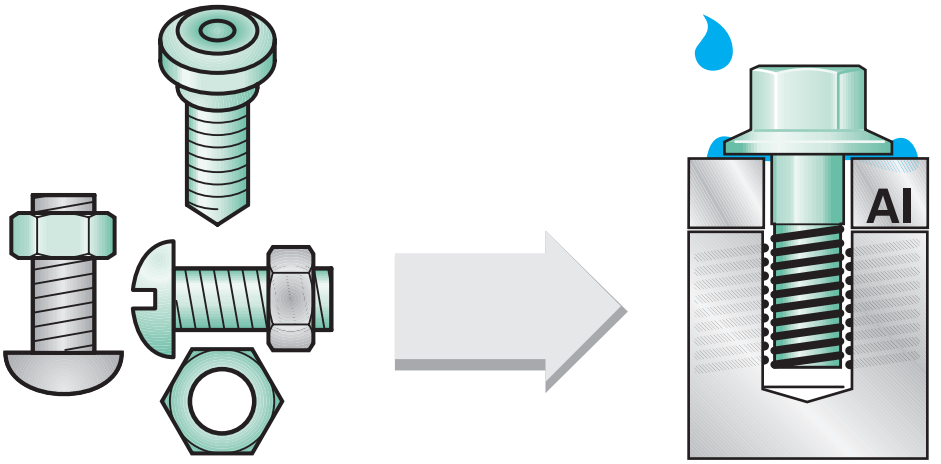
SSP239_011

Assemblages vissés sur l'Audi A2

Toutes les fixations entrant en contact avec l'aluminium sont revêtues de Dacromet ou de Delta Ton ou bien pourvues d'autres revêtements évitant la corrosion de contact.

En outre, ces pièces présentent au niveau de l'agent antigrippant une coloration verte, à base de résine alkyde, en vue d'éviter toute confusion avec les éléments de fixation classiques.

Protection de surface



SSP239_005

Revêtements possibles en vue d'éviter la corrosion de contact

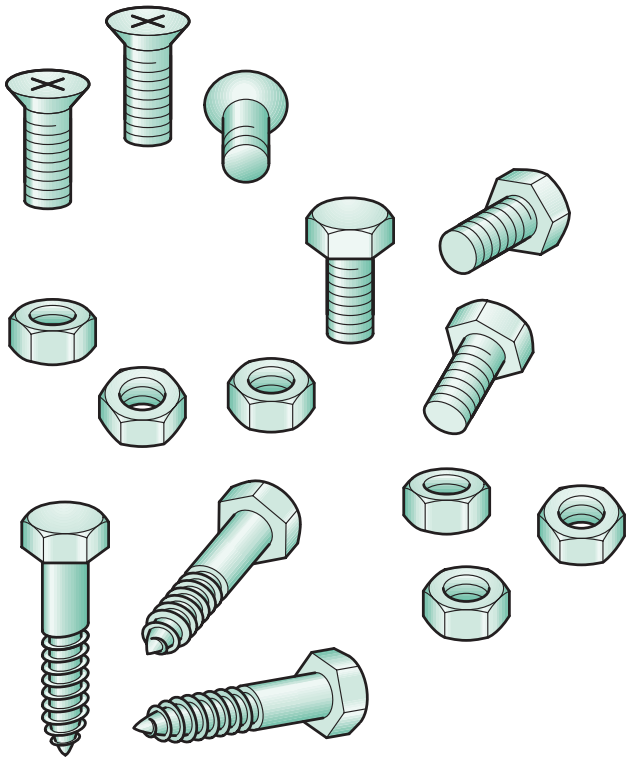
1. **Revêtement à base de poudre de zinc ou d'aluminium**
   (Delta Tone®, Dacromet®)

2. **Revêtements spéciaux en alliage de zinc**
   (Zn/Sn - mécanique - et ZnNi - galvanique)

3. **Revêtements aluminium galvaniques**

4. **Revêtement en étain**
   (pour métaux colorés)

5. **Systèmes mixtes**
   (zinc + vernis)



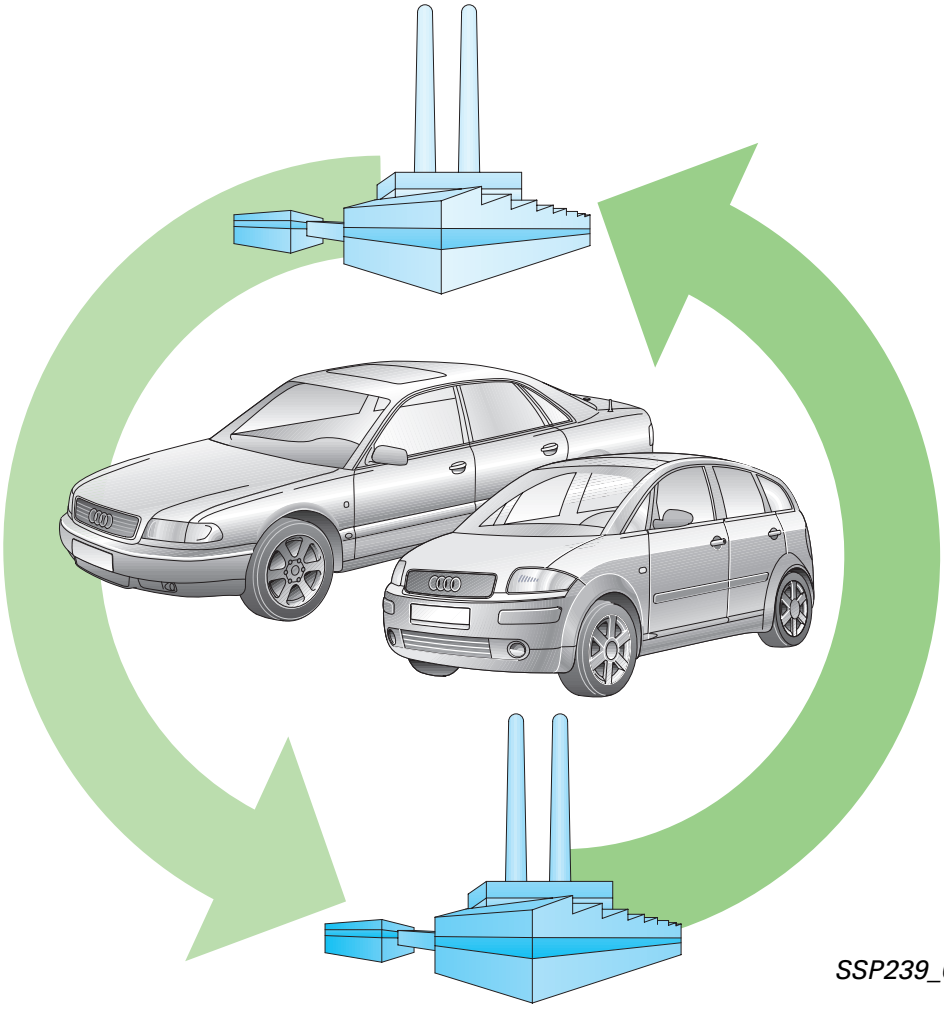
SSP239_006

Recyclage

La valeur de la ferraille d'aluminium justifie sa collecte et son retraitement.
Les besoins en énergie sont faibles.
La qualité et les propriétés du métal sont conservées.

Les avantages économiques de tris radicaux sont manifestes lorsque l'on considère la valeur commerciale des ferrailles.

Il existe des méthodes appropriées de tri automatique des métaux suivant les composants des alliages (détection par laser).

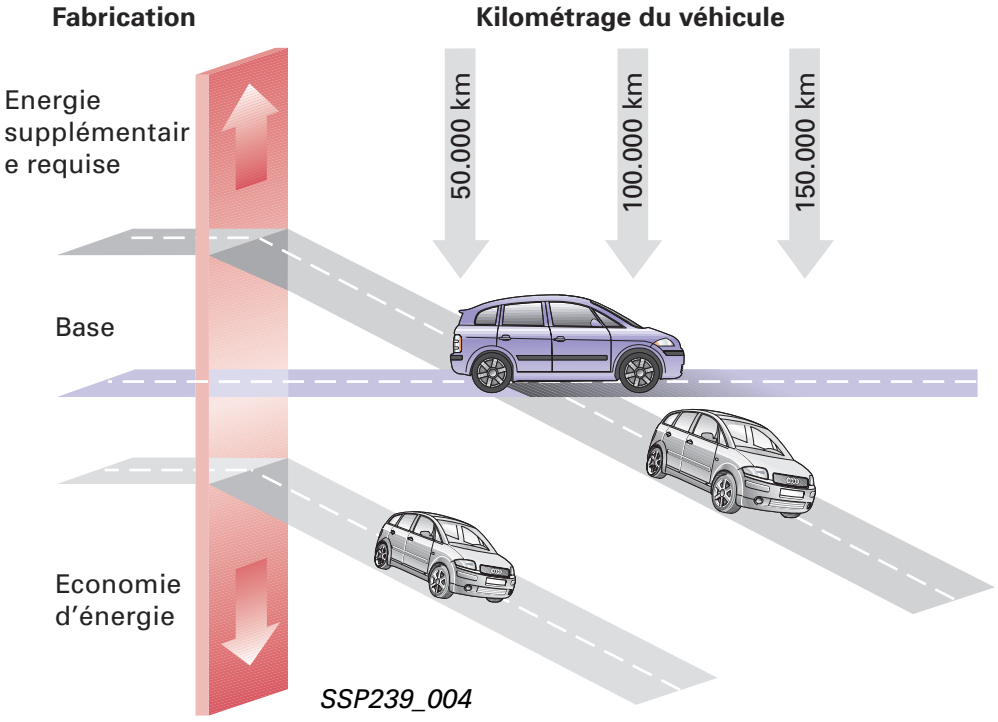


SSP239_002

En "fin de vie" d'un produit en aluminium, ce n'est pas la décharge qui l'attend, mais la revalorisation.

La ferraille d'aluminium, broyée et en vrac, est identifiée et triée en faisant appel à une technique spectroscopique assistée par laser.

Apport énergétique



SSP239_004

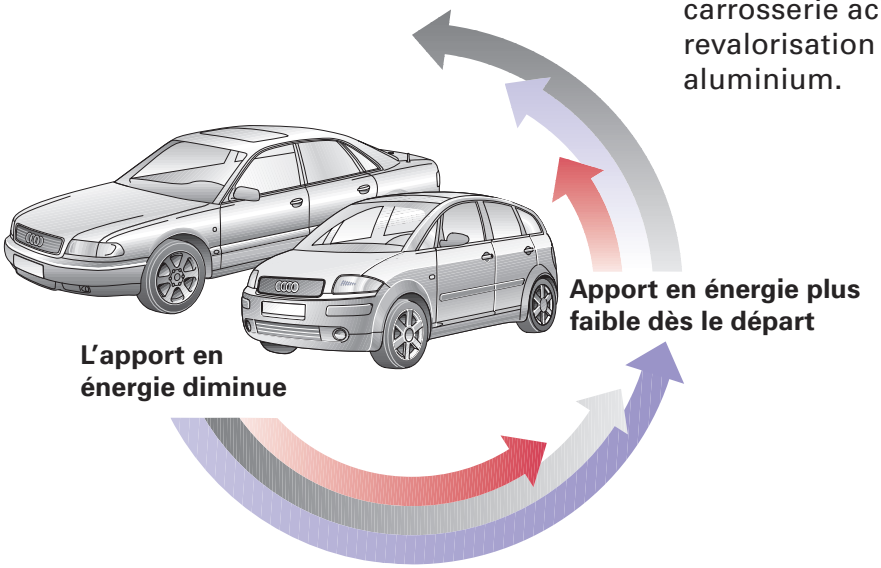
Carrosserie acier classique

Dans le cas de l'utilisation d'aluminium primaire, les besoins en énergie plus élevés requis initialement sont compensés au bout d'un kilométrage donné par économie d'autres vecteurs énergétiques, carburant p. ex.

En cas du recyclage de l'aluminium, l'Audi Space Frame ASF® est plus économique dès le départ.

Economie d'énergie

Les besoins énergétiques relativement importants dans le cas d'une carrosserie en aluminium neuve, comparée avec une carrosserie acier, diminuent à chaque revalorisation d'une épave de carrosserie aluminium.



SSP239_003

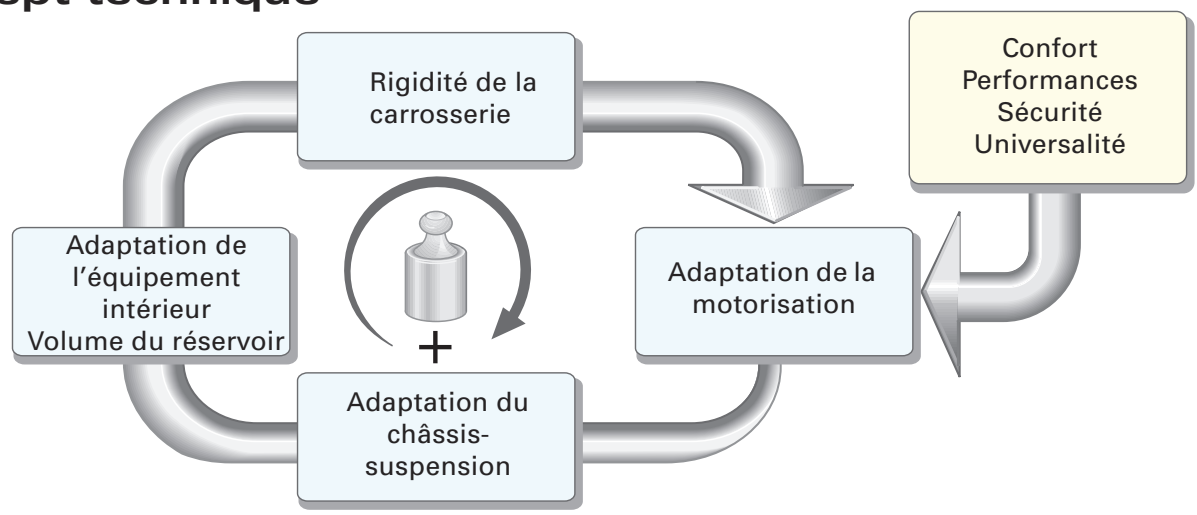
Véhicule en aluminium recyclé

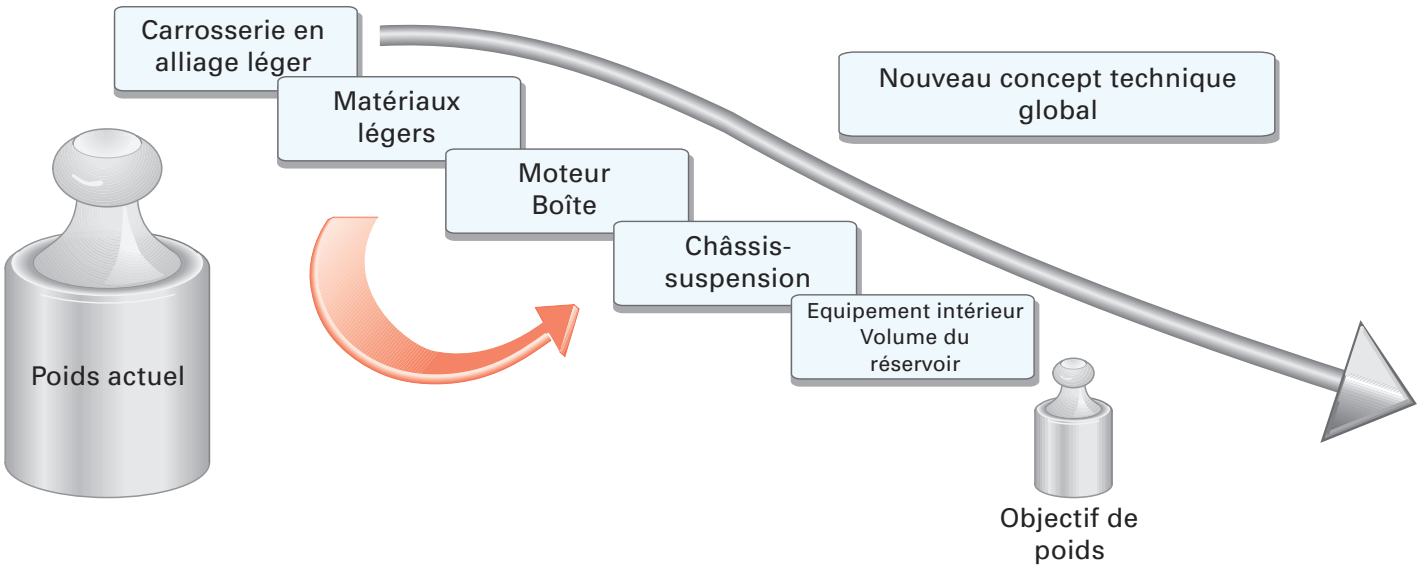
Carrosserie acier (voiture particulière classique)

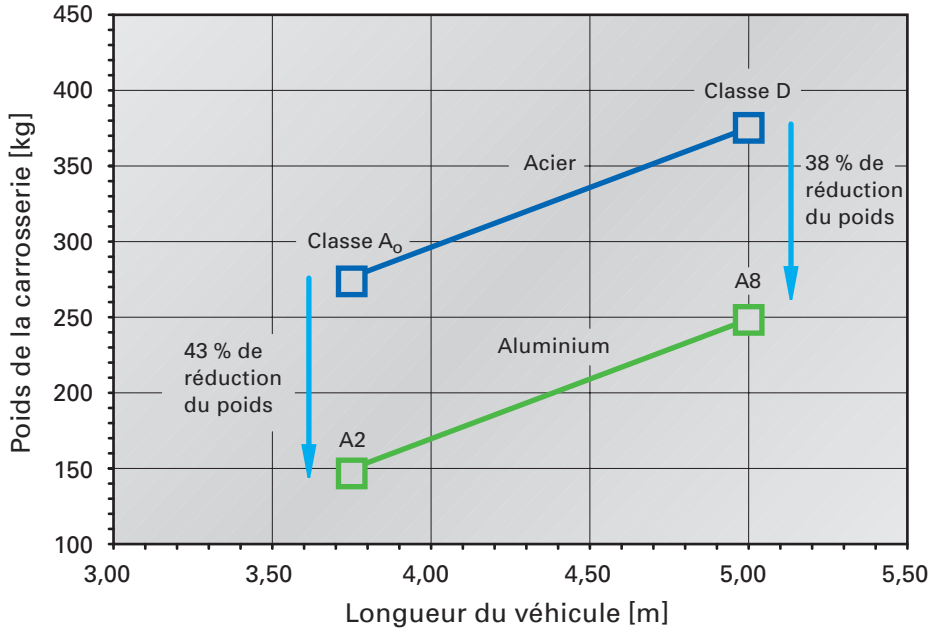
Voiture à pourcentage d'aluminium élevé, aluminium primaire

La revalorisation de l'aluminium à partir de ferrailles ne coûte qu'une part infime de l'énergie initiale.

Concept technique







SSP239_070

Nouveautés de l'Audi Space Frame de l'A2

SSP239_096

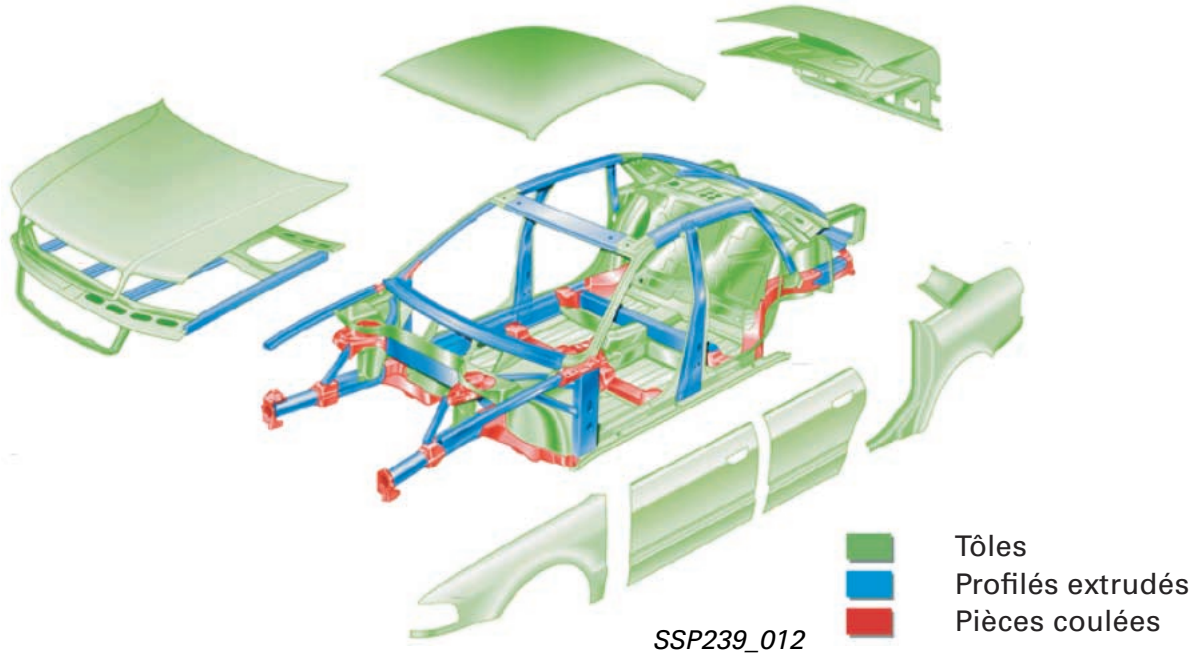
A chaque nouveau développement ou perfectionnement d'un véhicule, le constructeur doit satisfaire à des exigences contradictoires.
Il faut d'une part que le véhicule soit polyvalent au maximum, qu'il possède un équipement aussi complet que possible et qu'il consomme peu.
De l'autre, des équipements supplémentaires et différentes mesures d'adaptation se traduisent par un accroissement du poids allant à l'encontre d'une faible consommation de carburant.
Pour aller à l'encontre de ce cercle vicieux du poids, un nouveau concept technique a été établi avec l'A2 par mise en oeuvre de l'aluminium et de l'ASF®.
On l'avait déjà constaté sur l'Audi A8 - la réduction du poids réalisée grâce au nouveau concept est, sur l'Audi A2, étonnante.

Les nouveautés de l'Audi Space Frame consistent en :

- Réduction du nombre de composants de la carrosserie à seulement 230 pièces environ.
- Pièces coulées multifonctionnelles de grande taille.
- Perfectionnement de la technologie aluminium, avec p. ex. :
  - 30 m de cordon de soudure au laser
  - profilés aluminium du cadre de pavillon réalisés par hydroformage,
  - panneau latéral embouti d'un seul tenant.

Audi Space Frame – ASF®

Vue d'ensemble ASF® - A8 et A2



SSP239_012

L'Audi Space Frame® de l'A8 est un ensemble constitué de profilés aluminium et de noeuds aluminium coulés sous pression.

Sur cette structure en cage de l'Audi, tous les autres éléments de carrosserie en aluminium sont fixés par soudage sous gaz de protection, rivetage par poinçonnage, collage et clinchage (matage de deux tôles).

Répartition du poids

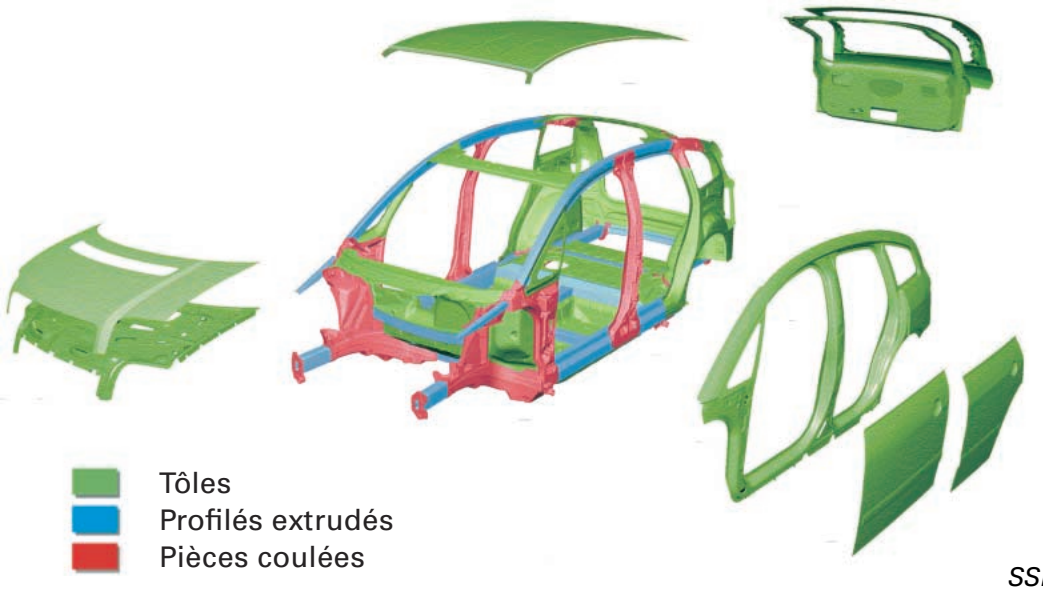
Tôles - 55 %	=	138,20 kg
Profilés - 22,7 %	=	56,50 kg
Pièces coulées - 21,8 %	=	54,30 kg
Poids total de l'ASF®	=	249,00 kg

Nombre de pièces

Tôles - 71 %	=	237 pièces
Profilés - 14 %	=	49 pièces
Pièces coulées - 15 %	=	50 pièces
Nombre total de pièces de l'ASF®	=	336 pièces

Synoptique des types d'assemblage

Rivetage par poinçonnage	=	1100 pièces
Cordons de soudure MIG	=	70 m
Points de soudure	=	500 pièces
Assemblages par clinchage	=	178 pièces



SSP239_013

L'Audi Space Frame® de l'A2 se compose d'un ensemble de profilés extrudés en aluminium et de pièces multifonctionnelles injectées sous pression sous vide (pièces coulées de grande taille).

Un perfectionnement systématique a permis de réduire le nombre de pièces.

La méthode de soudage au faisceau laser est nouvelle.

Répartition du poids

Tôles - 60,6 %	=	92,80 kg
Profilés - 17,6 %	=	27,00 kg
Pièces coulées - 22,1 %	=	33,20 kg
Poids total de l'ASF®	=	153,00 kg

Nombre de pièces

Tôles - 81,3 %	=	183 pièces
Profilés - 9,8 %	=	22 pièces
Pièces coulées - 8,9 %	=	20 pièces
Nombre total de pièces de l'ASF®	=	225 pièces

Synoptique des types d'assemblage

Rivetage par poinçonnage	=	1800 pièces
Cordons MIG	=	20 m
Cordons laser	=	30 m

Composants

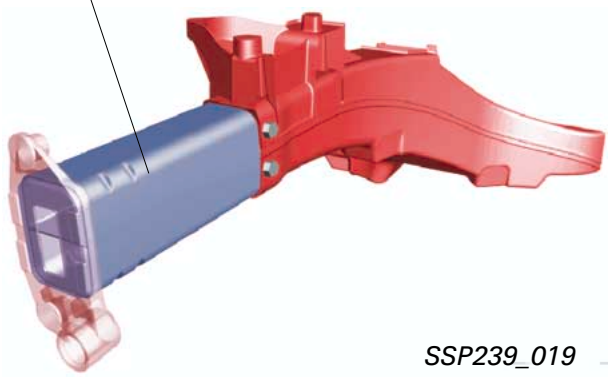
Grandes pièces coulées multifonctionnelles avec épaisseur de paroi optimisée au niveau fonction et poids ainsi que structure optimisée des composants.

Les pièces injectées sous pression sous vide possèdent, outre d'excellentes caractéristiques de résistance, de bonnes propriétés de déformabilité étant donné qu'elles sont mises en oeuvre dans la structure, au niveau par exemple des longerons 2, prises de jambe de force et montants A et B, essentiellement dans des zones névralgiques en cas de collision.

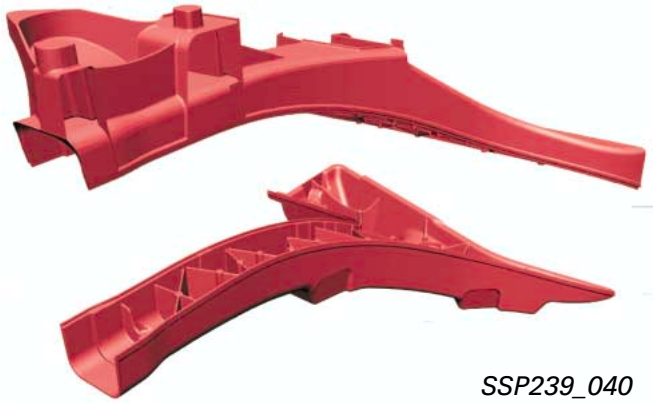
Le longeron 2 présente, du fait qu'il est réalisé par injection sous pression sous vide, une série d'avantages par rapport aux techniques de fabrication classiques utilisées :

- Les deux demi-coquilles des longerons sont, en ce qui concerne la répartition de leur épaisseur de paroi et leur structure nervurée, déterminée d'après le calcul de la structure, conçues en vue d'une déformation définie.
- Les points de vissage de l'essieu avant dans les coquilles inférieures ont été conçus de sorte que l'énergie de déformation soit transmise au longeron et non pas au cadre auxiliaire rigide.
- Par intégration de la liaison de la boîte et du palier moteur, de la liaison du cadre auxiliaire, de la prise du cric emboîtable ainsi que des points de prise de la suspension, ces deux demi-coquilles en fonte constituent un élément multifonctionnel de grande taille.
- En plus de l'économie de poids, il a également été possible de réduire le nombre de pièces.

Longeron vissé



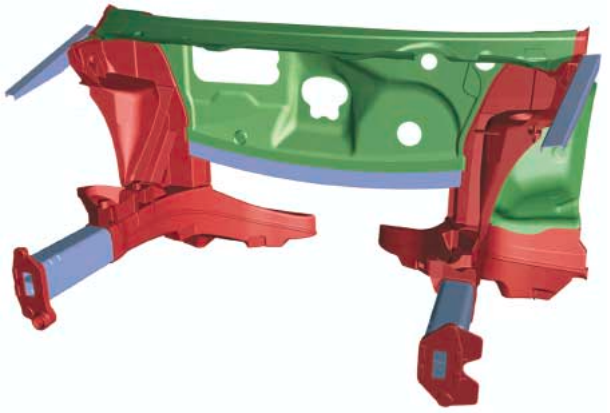
SSP239_019



SSP239_040

Avant du véhicule

Cette structure du longeron forme, avec un grand élément coulé supplémentaire, la "prise de jambe de force", le panneau avant, la console de pédalier et les passages de roue avant, l'avant complet du véhicule.



SSP239_097

Le perfectionnement du procédé d'injection sous pression sous vide permet de réaliser de nos jours des pièces plus largement dimensionnées, telles que par exemple les montants A et B de l'Audi A2.

Pièces coulées de l'ASF® de l'A8

Noeuds d'assemblage et de compensation des tolérances
Ces pièces sont coulées selon le procédé Vacural® (le moule est sous vide avant de verser l'aluminium).

Pour le reste du processus de montage, on requiert des pièces de faible porosité et faciles à souder.

Ces pièces se caractérisent par un excellent comportement en cas de collision, en termes de déformation comme d'absorption de l'énergie.

Pièces coulées de l'ASF® de l'A2

Pièces coulées multifonctionnelles de grande taille présentant une réduction de l'épaisseur de paroi et du poids ainsi qu'une précision de cotes améliorée du composant.

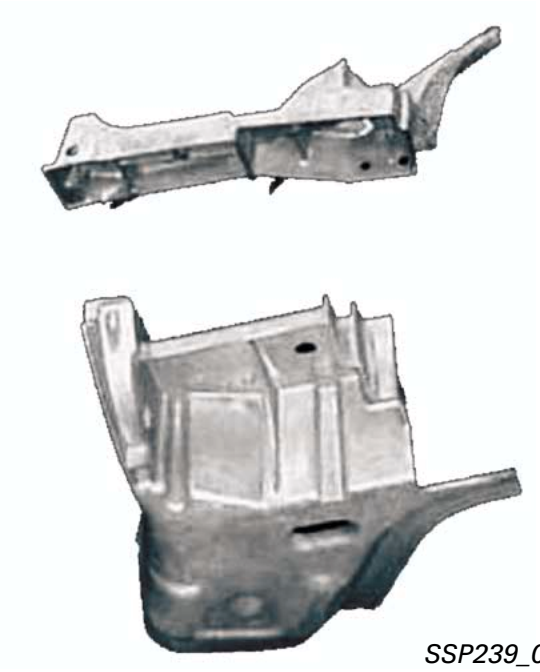
La méthode de coulée a pu être perfectionnée grâce à des alliages nouvellement mis au point améliorant le recyclage et permettant de renoncer à un traitement thermique ultérieur.

En corrélation avec une périphérie optimisée (technique d'outillage), il a été possible d'augmenter la précision de cotes des pièces.

Les possibilités offertes par la technique des noeuds déjà appliquée ont pu être étendues par les pièces coulées de grande dimension.

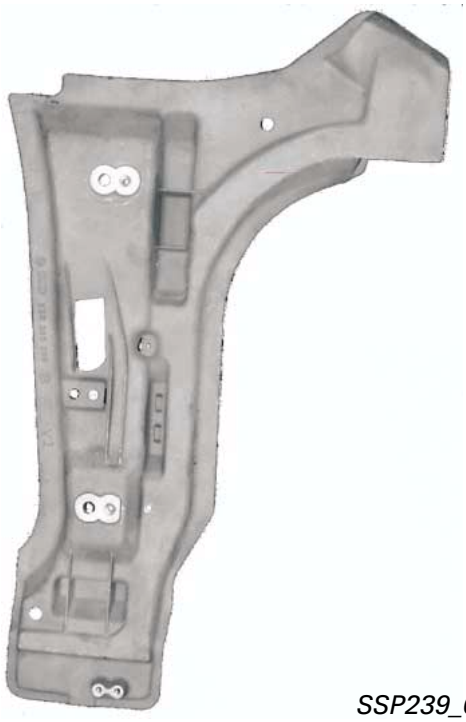
Il s'ensuit un nombre réduit de composants et donc un travail d'assemblage moins important.

Ces possibilités de conception optimisées ont permis de réaliser une intégration de la multifonctionnalité ainsi qu'une réduction du nombre de pièces.



SSP239_032

Eléments nodaux du montant A (A8)



SSP239_033

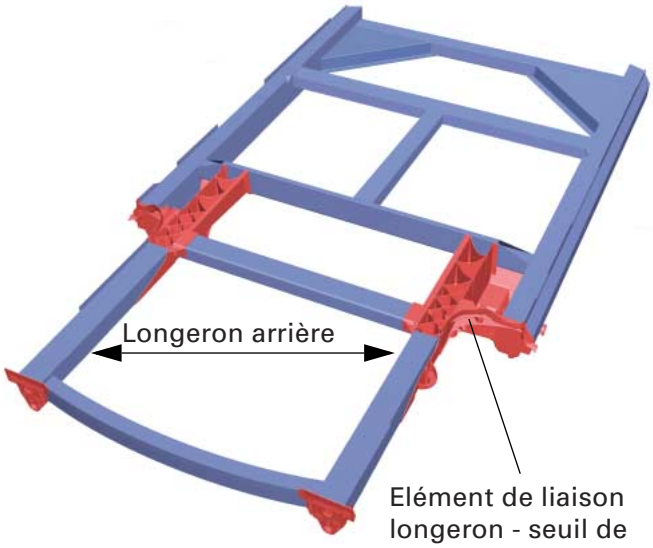
Pièce moulée de grande taille du montant A (A2)

Liaison plancher central et arrière du véhicule

Le cadre de la structure du soubassement est constitué de profilés extrudés reliés par soudure d'angle MIG. Les noeuds coulés de liaison qui étaient encore nécessaire sur l'Audi A8 ont ainsi pu être supprimés.

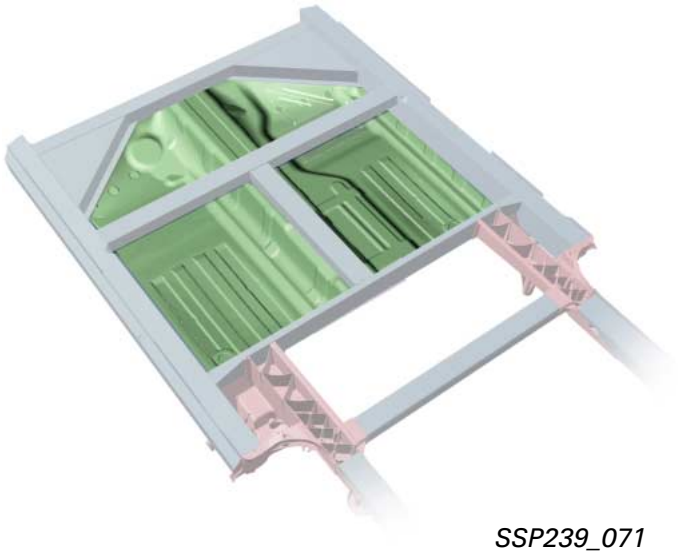
L'arrière du véhicule, présentant lui aussi une structure relativement simple avec ses longerons et traverses, est relié au plancher central par une autre pièce multifonctionnelle coulée de grande taille.

Cet "élément de liaison longeron-seuil de porte" comprend la liaison au train arrière, la cuvette-support, le logement du cric emboîtable et les points de prise servant en production.



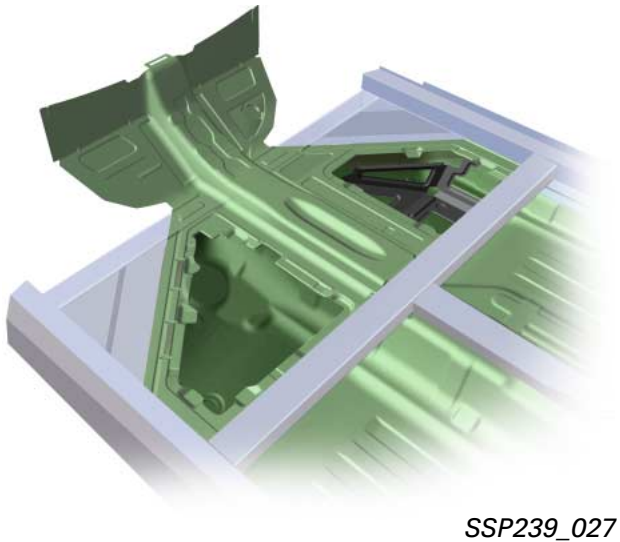
SSP239_023

Tôles rapportées et de l'enveloppe extérieure



SSP239_071

Un bac de plancher en une partie et une tôle de plancher surélevée à l'avant, dans la zone des sièges du conducteur et du passager avant, ont permis de créer un espace supplémentaire pour divers organes auxiliaires et appareils de commande.



SSP239_027

L'espace aux jambes des passagers arrière ainsi que la position assise ergonomique ont été sensiblement améliorés grâce à un bac de plancher surbaissé à l'arrière. La taille et la complexité du bac de plancher ainsi qu'une épaisseur de paroi relativement faible pour des raisons de résistance n'ont pu être réalisées que grâce à une simulation de l'emboutissage profond en cours de conception.

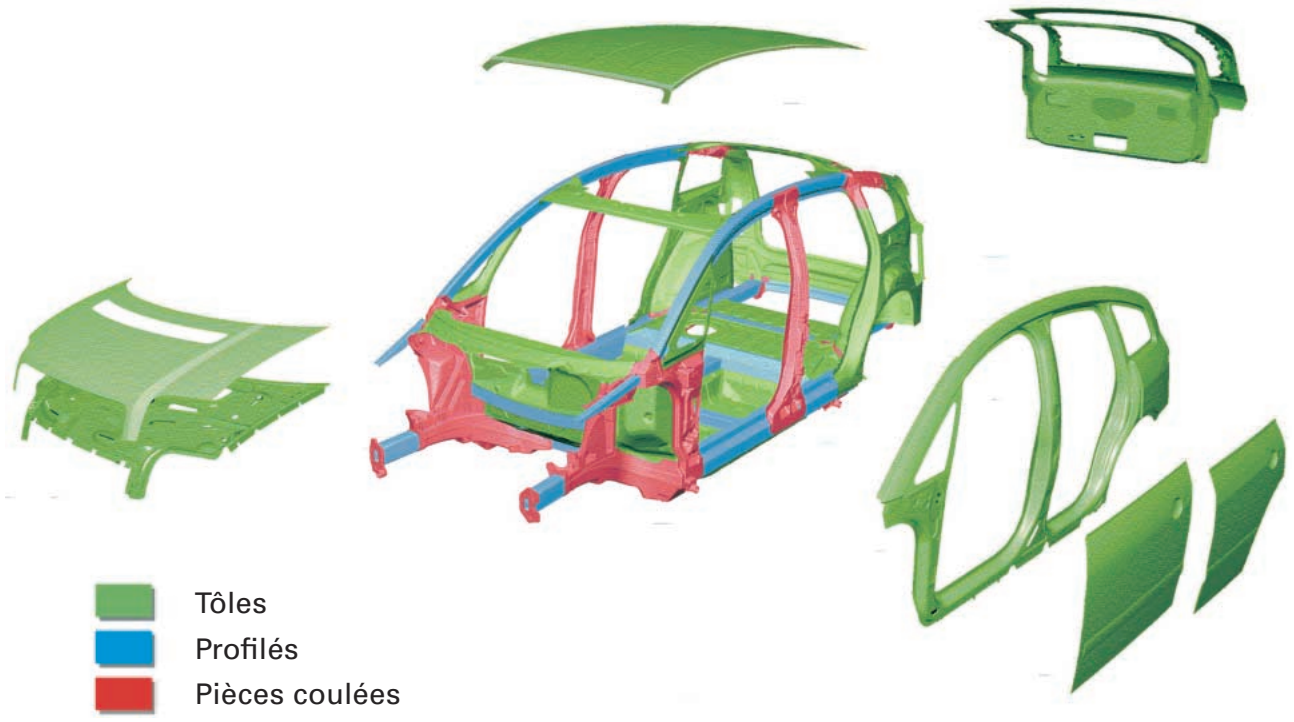
Tôles rapportées et de l'enveloppe extérieure

Sur l'Audi A2, il a été principalement fait appel à des matériaux thermodurcissables, qui offrent le meilleur compromis entre bonne aptitude au formage, bonnes propriétés mécaniques et bonne résistance à la corrosion.

Après formage et réalisation de la coque nue, le matériau est modifié par traitement thermique (205 °C) au niveau de la chaîne de fabrication des carrosseries de façon à augmenter ses propriétés mécaniques, telles que limite élastique et résistance à la traction, et atteindre des valeurs comparables à celles des aciers emboutis conventionnels.

L'amélioration des propriétés intrinsèques des matériaux par traitement thermique ultérieur permet de réaliser une nouvelle optimisation au niveau poids.

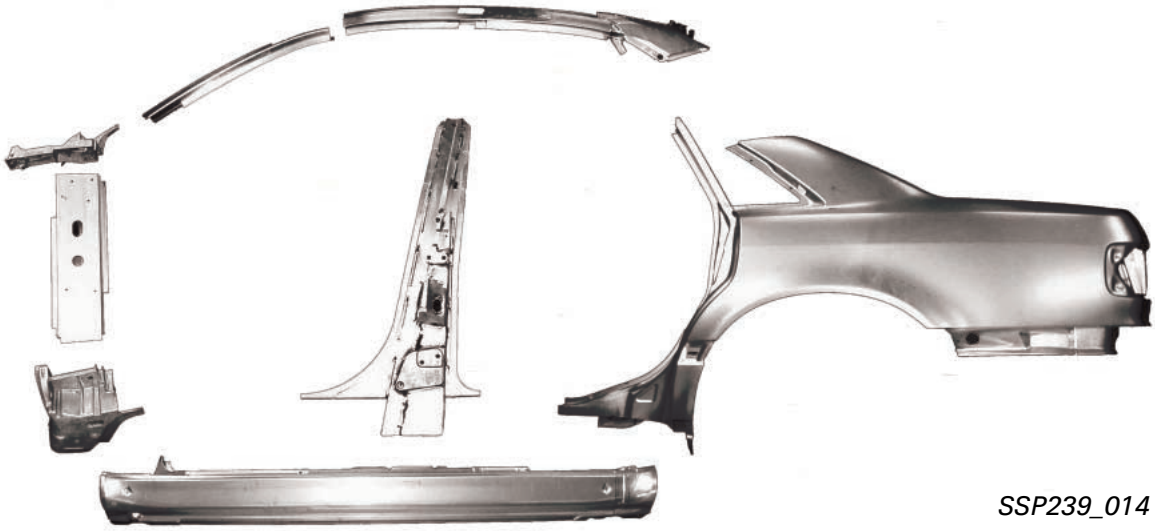
Le critère de dimensionnement des tôles de l'enveloppe extérieure est l'évitement de bosses résiduelles dues à la grêle ou à des pressions appliquées localement lors du polissage ou de la fermeture des capots.



SSP239_013

Réduction du nombre d'éléments de la carrosserie

Panneau latéral



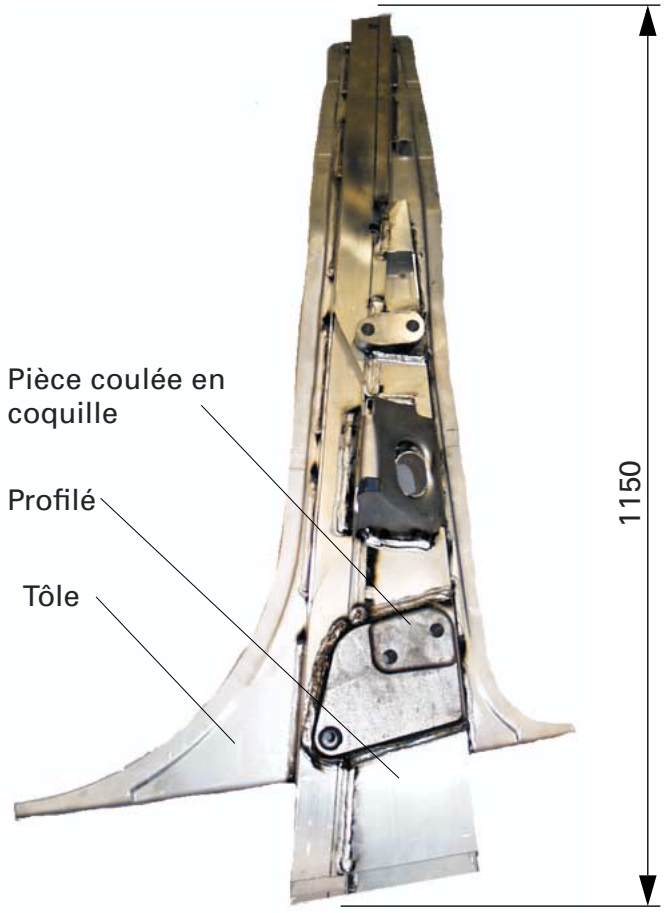
SSP239_014

Le panneau latéral de l'A8 se compose de 8 pièces.

SSP239_015

Le panneau latéral de l'A2 est en une partie.

Comparaison des montants B de l'A8 et de l'A2



SSP239_016

SSP239_017

Le montant B de l'A8 se compose de 8 éléments et il est fait appel à plusieurs techniques de fabrication.

Nombre de pièces : 8
Poids : 4180 g

Le montant B de l'A2 est en une partie et réalisé en une seule technique de fabrication.

Nombre de pièces : 1
Poids : 3200 g

Coulée sous pression sous vide
épaisseur minimale de paroi : 2 mm

Vue d'ensemble

Comparaison des types de profilés

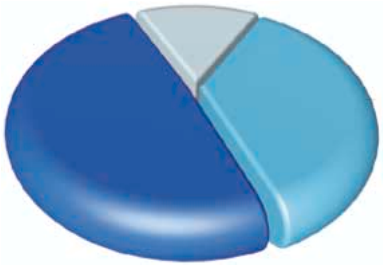
La comparaison des différents types de profilés montre la grande importance du formage pour l'effectivité au niveau de la coque du véhicule et l'influence directe que cela a sur le nombre de véhicules produits par jour.

La réduction des découpes finales complexes permet d'améliorer la précision d'ajustage des pièces et la compensation de tolérance nécessaire peut être limitée à un minimum.

Les caractéristiques de l'Audi Space Frame de l'A8 sont les suivantes :

- degré d'automatisation réduit, env. 20 %
- découpes finales complexes
- compensation des tolérances par des noeuds coulés
- grand nombre de profilés cintrés

Nombre de pièces de l'ASF® de l'A8



Pourcentage de profilés cintrés

profilés droits	–	49 %
profilés cintrés 2 D	–	34 %
profilés cintrés 3 D	–	17 %

L'Audi Space Frame de l'A2 se distingue par les caractéristiques suivantes :

- niveau d'automatisation élevé, env. 85 %
- la liaison en T au niveau de la soudure d'angle donne des composants de haute précision
- découpes finales simples
- soudage laser
- profilés cintrés limités au nombre de 4

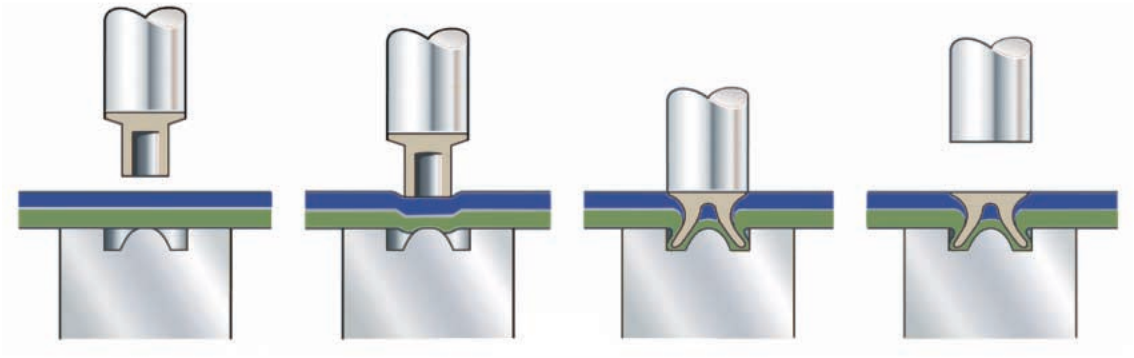
Nombre de pièces de l'ASF® de l'A2

Pourcentage de profilés cintrés

profilés droits	–	82 %
profilés cintrés 2 D	–	9 %
profilés cintrés 3 D	–	9 %

Méthodes de fabrication

Rivetage par poinçonnage

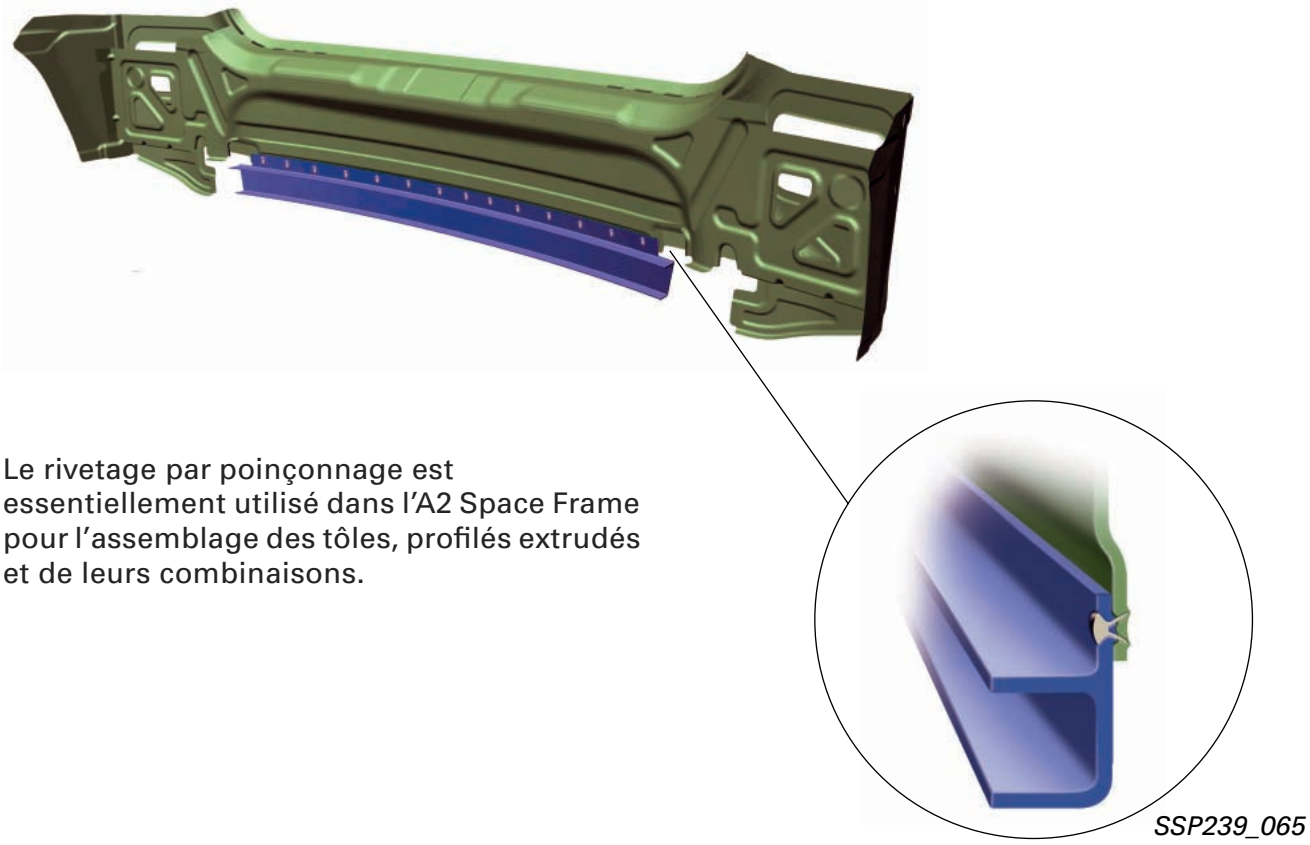


SSP239_066

La part des assemblages réalisés par rivetage par poinçonnage a augmenté d'environ 40 %, ce qui représente environ 1800 liaisons, par rapport à l'A8 du fait de l'abandon des techniques d'assemblage que sont le "clinchage" et la "soudure par résistance par points".

Cela est dû aux résultats positifs obtenus avec la mise en oeuvre du rivetage par poinçonnage sur le Space Frame de l'A8.

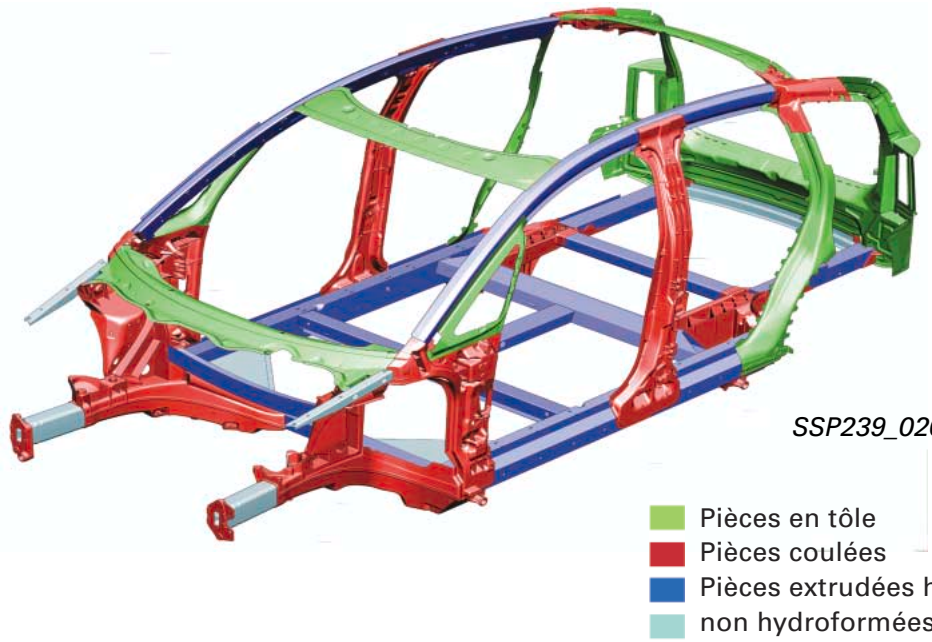
Sur le Space Frame de l'A2, on utilise uniquement des rivets semi-cylindriques de différentes cotes, en fonction de la combinaison de pièces.



SSP239_065

Le rivetage par poinçonnage est essentiellement utilisé dans l'A2 Space Frame pour l'assemblage des tôles, profilés extrudés et de leurs combinaisons.

Hydroformage (procédé IHU)



SSP239_020

- Pièces en tôle
- Pièces coulées
- Pièces extrudées hydroformées
- non hydroformées

Hydroformage et cintrage

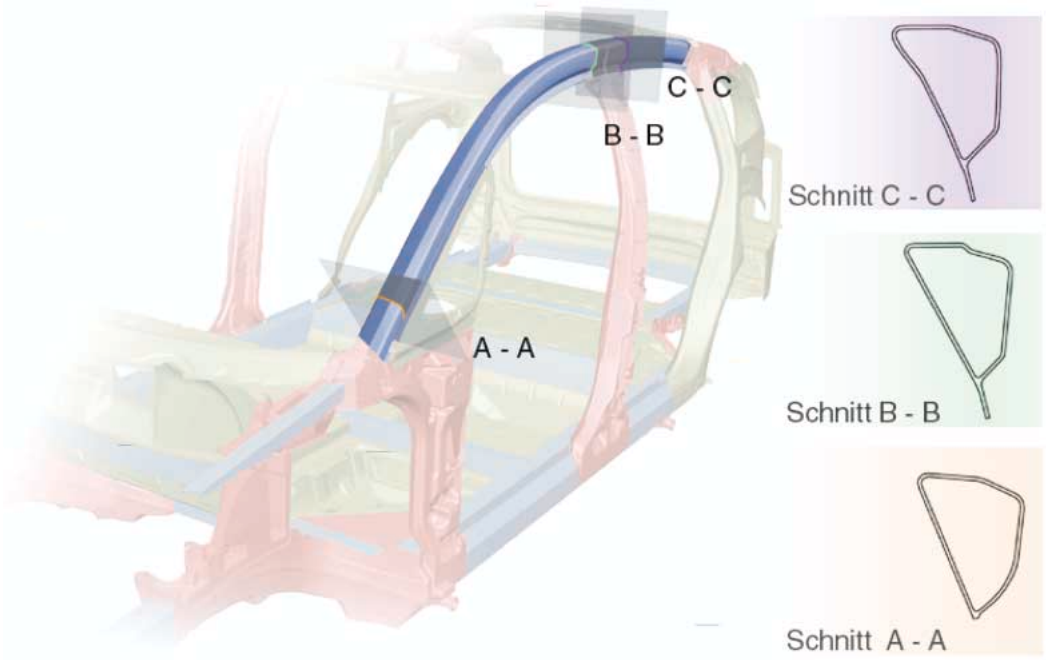
La grande liberté de conception de la géométrie des sections des profilés permet une optimisation de la pièce au niveau de la forme, de la fonction et du poids.

Cadre de pavillon de l’A2 hydroformé

Les tolérances requises de +/– 0,2 mm ne peuvent être réalisées que par hydroformage.

Il est possible de renoncer à tous les autres process de traitement ultérieurs.

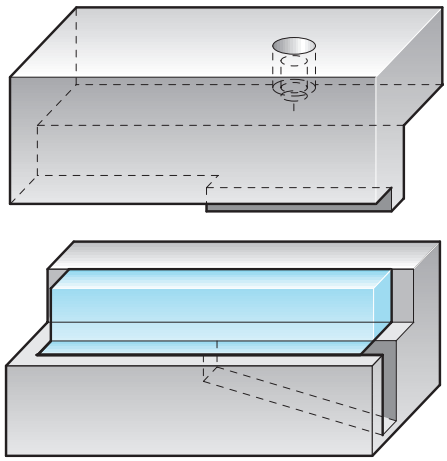
Cette méthode permet de réaliser le cadre de pavillon en une seule pièce, tout en présentant des sections différentes.



SSP239_030

Déroulement de la fabrication en prenant pour exemple un longeron

Le profilé coupé à la cote est placé dans un outil se composant d'une partie supérieure et d'une partie inférieure.



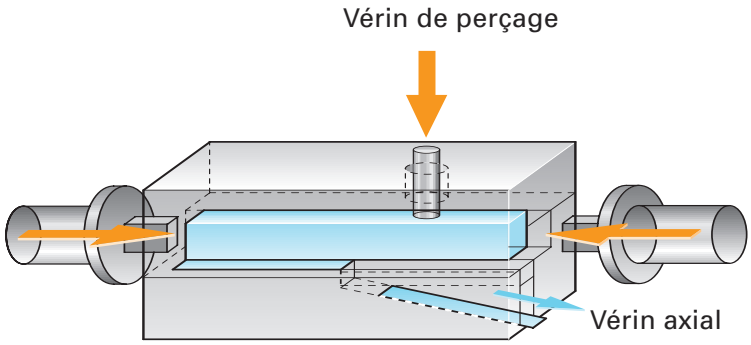
SSP239_024

La découpe du flasque a lieu lors de la fermeture des outils. Simultanément, les vérins axiaux sont introduits et le profilé rempli de liquide.

Une pression d'environ 1700 bar est ensuite établie et le profilé se trouvant dans le moule de l'outil est formé et étalonné.

Lorsque la pression finale est atteinte, les vérins de découpe qui obturaient jusque là les orifices pour des opérations de perçage supplémentaire sont ressortis.

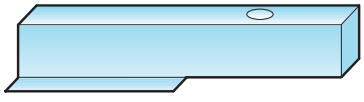
Le vérin de découpe repousse alors une partie définie du profilé vers l'extérieur et l'ouverture est réalisée.



SSP239_025

La pièce peut ensuite être enlevée.

Dans sa totalité, l'opération dure environ 25 secondes.



SSP239_026

Techniques d'assemblage

Soudage au gaz inerte avec apport de métal (MIG)

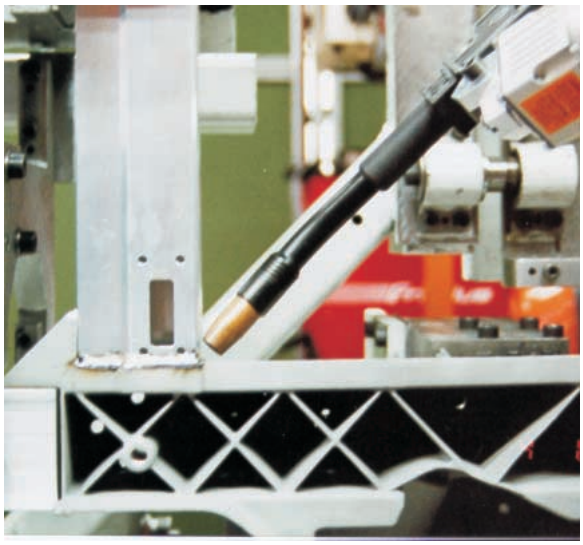
Le soudage MIG est mis en oeuvre pour la réalisation de la structure du cadre se composant de profilés extrudés.

En ce qui concerne cette méthode d'assemblage thermique, on dispose d'une large expérience en série. 70 m de cordon de soudure par véhicule sont réalisés sur l'Audi A8 selon ce procédé.

Le procédé s'est révélé économique et très flexible.
Son inconvénient réside toutefois dans l'apport élevé de chaleur et la lenteur de la réalisation de l'assemblage.

Sur l'Audi A2, seuls 20 m environ de cordon de soudure sont à effectuer.

La technique d'appareillage perfectionnée est pilotée par un système de C+C.
On utilise de gros rouleaux qui augmentent la vitesse d'assemblage et permettent de renoncer au soudage pendulaire.



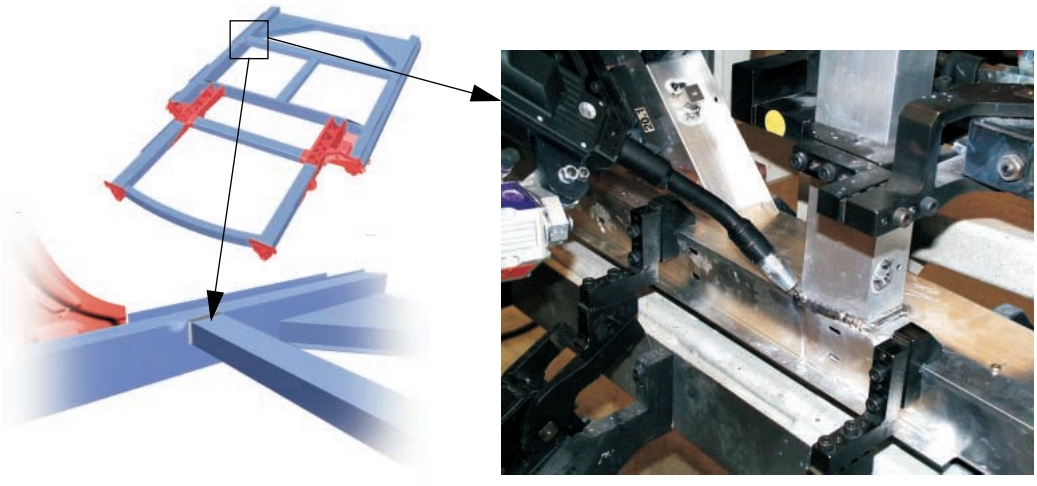
SSP239_047

Comme sur l'Audi A8, on fait appel sur l'Audi A2 au soudage MIG.
Une augmentation du niveau d'automatisation a pu être atteinte par des mesures d'optimisation en production ainsi que par une précision nettement améliorée des pièces du fait du calibrage réalisé au stade de l'hydroformage.

Soudage MIG sur la structure du plancher de l'A2

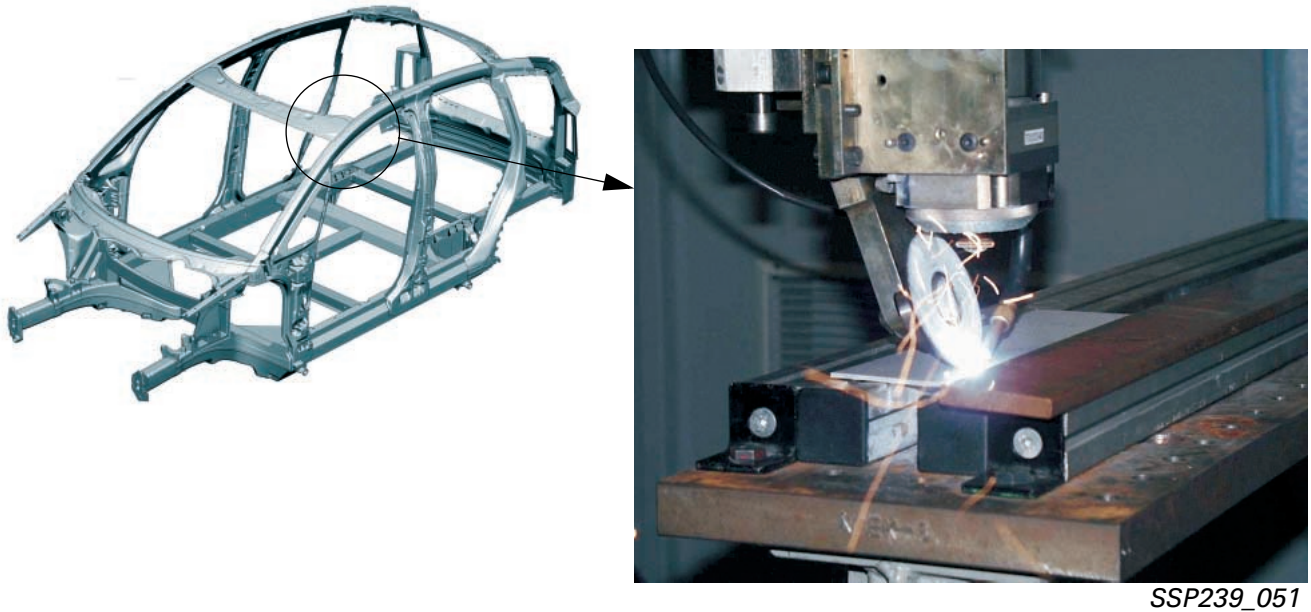
Le soudage MIG est essentiellement utilisé pour relier les profilés extrudés du cadre-plancher (liaison en T des profilés).

Le soudage MIG est également mis en oeuvre sur la carrosserie, au niveau de l'avant et de l'arrière du véhicule, là où il s'agit de souder des profilés extrudés, pièces coulées sous pression et les combinaisons des deux.



SSP239_049

Soudage laser



SSP239_051

Le soudage laser est utilisé pour le soudage des tôles/profilés extrudés et pièces coulées.

Sur l'A2 les liaisons suivantes sont réalisées par un cordon de soudure par recouvrement :

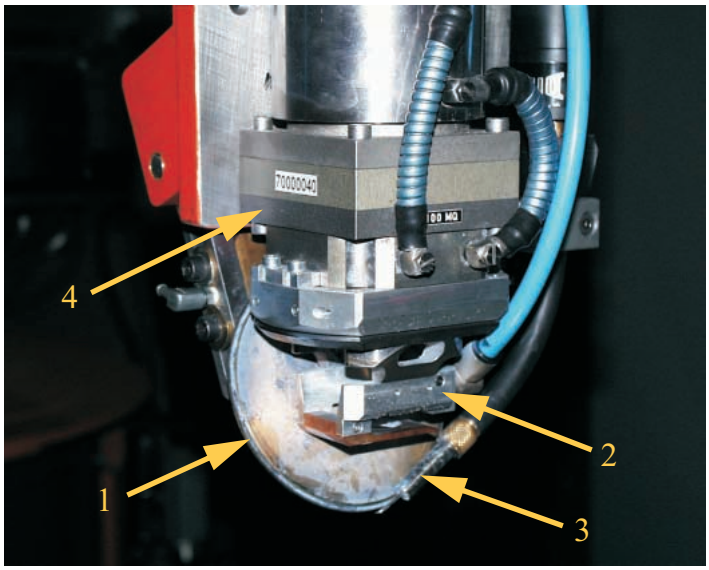
- tôle sur tôle
- tôle sur pièces coulées
- pièces coulées sur profilés.

Il est ici possible de renoncer aux technologies de soudage par points, par rivetage et MIG.

Le soudage laser offre les avantages suivants :

- productivité élevée
- résistance élevée
- économie de poids (faible recouvrement)
- accès requis d'un seul côté
- déformation faible du fait d'un apport thermique moins important
- exécution du cordon simple et propre
- aucun traitement de surface préliminaire nécessaire

Tête de soudage laser



1 - Galet de pression
2 - Crossjet
3 - Alimentation en fil
4 - Système optique de focalisation

Utilisation du laser sur les véhicules acier
Audi

Berline A4
montant C

Utilisation du laser
au niveau de la coque nue

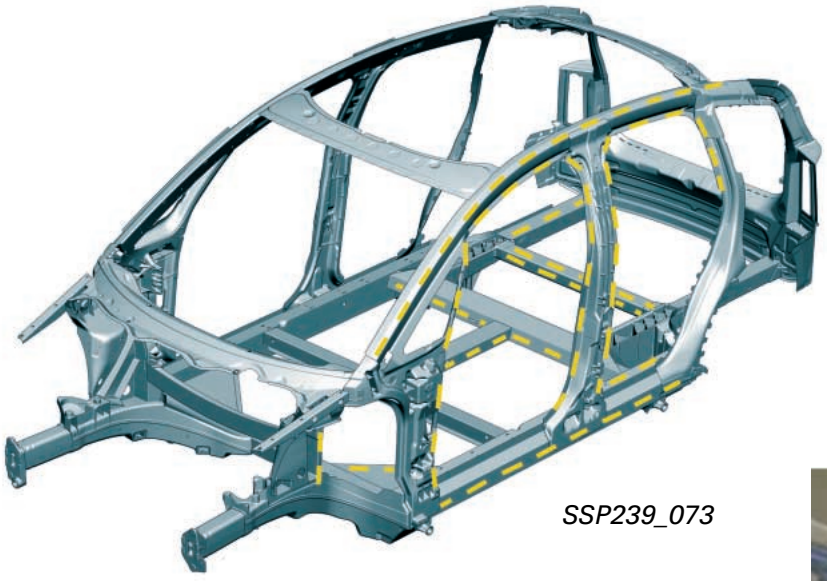
A6 Berline/Avant
Pavillon/panneau latéral

A3
Pavillon/panneau latéral

A4 Avant
Pavillon/panneau latéral

TT
Montant C (brasage)

Cordons laser sur l'ASF® de l'Audi A2



SSP239_073

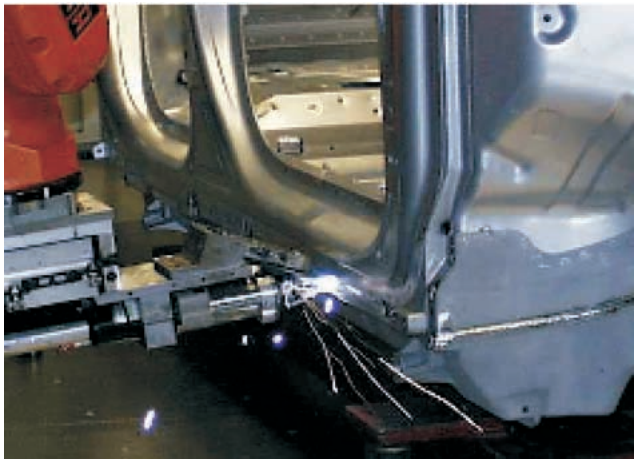
Cordons laser

Au moment de l'étude de la production de l'A8, le soudage au rayon laser des alliages d'aluminium était encore considéré comme irréalisable, ce qui a conduit entre autres au choix du procédé MIG.

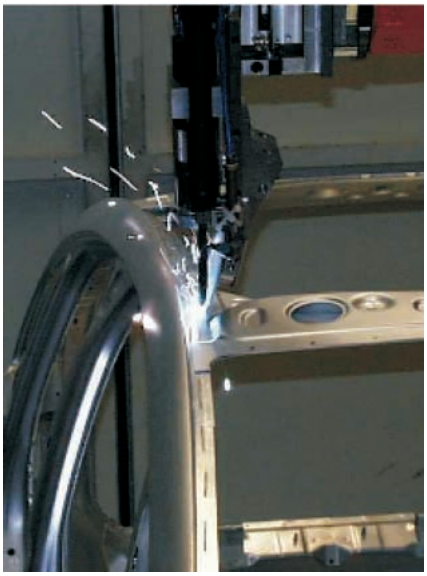
Pour le Space Frame de l'A2, par contre, on a déjà envisagé dès la phase de conception la mise en oeuvre de méthodes de soudage alternatives.

Depuis quelques années, on dispose de sources laser haute puissance remplissant les conditions requises pour l'aluminium et utilisables en production.

SSP239_054



SSP239_056

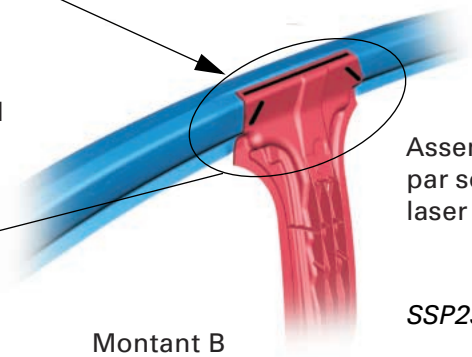


SSP239_055

Assemblages par soudage laser au niveau du montant B

Le soudage au rayon laser est essentiellement utilisé sur l'A2 pour la soudure de pièces en tôle de grande surface sur la structure de carrosserie constituée de profilés et pièces coulées.

Cadre de pavillon
Profilé extrudé latéral

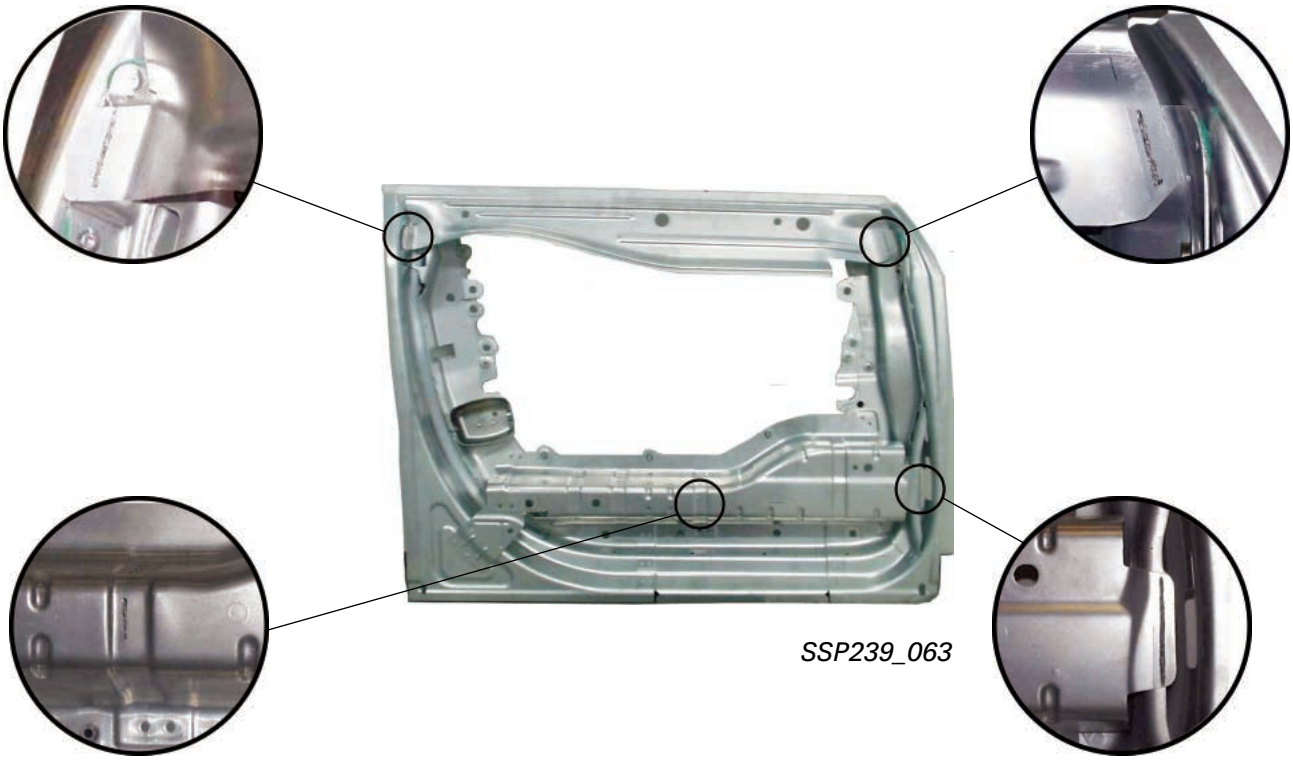


Assemblage par soudage laser

Montant B
Pièce coulée sous pression sous vide

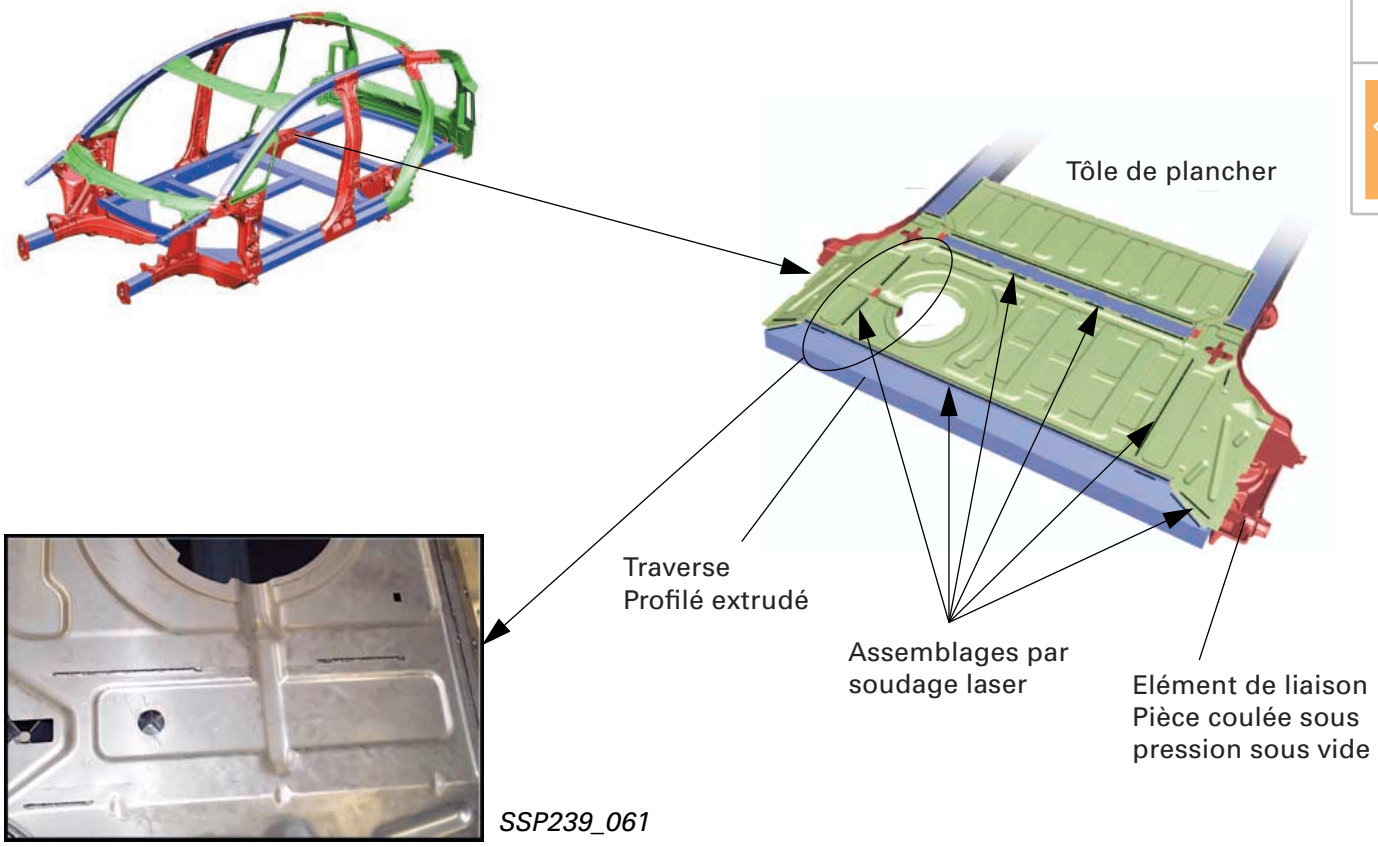
SSP239_062

Assemblages par soudage laser au niveau de la porte avant



SSP239_063

Assemblages par soudage laser au niveau du cadre-plancher



SSP239_061

Le Space Frame de l'A2 totalise 30 m d'assemblages réalisés par soudage laser.

Les exemples en sont la liaison du montant B, des tôles de plancher sur la structure du cadre en profilés extrudés soudée par procédé MIG, la liaison du pavillon à la carrosserie ou la liaison du panneau latéral en une partie au cadre de pavillon et aux portes.

Open Sky

Conception et fonctionnement

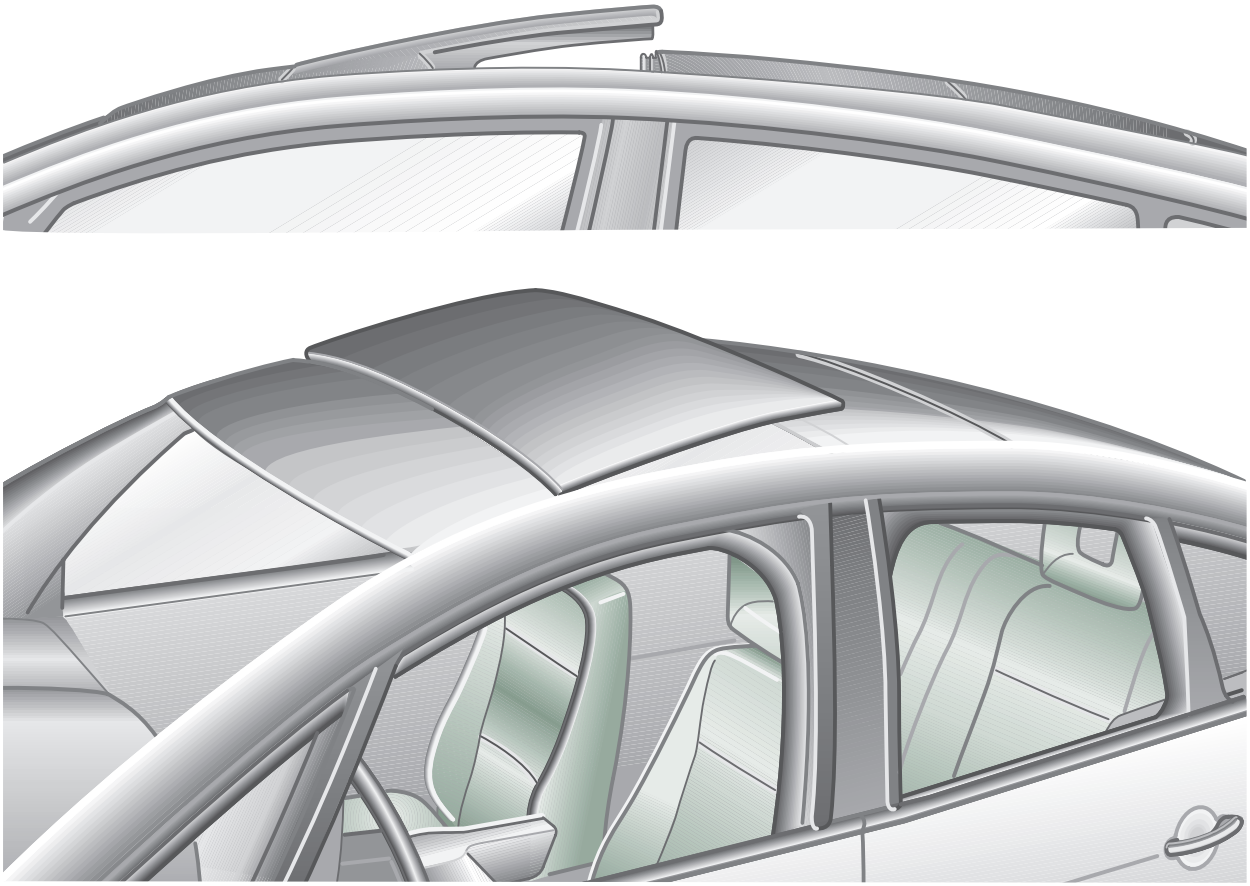
SSP239_036

Toit fermé

Le toit panoramique à panneaux Open Sky est le premier à constituer tout le système du toit.

Optiquement, sa surface en verre d'un seul tenant forme une unité complète. Le système de toit s'étend du pare-brise à la lunette arrière ainsi que du cadre de la paroi latérale gauche à celui de la paroi latérale droite.

La surface vitrée est donc de 166 % environ plus importante que sur un toit ouvrant comparable.



SSP239_037

Toit relevé

Le toit relevé renforce l'effet du système de ventilation d'air frais existant. La ventilation est alors très agréable.

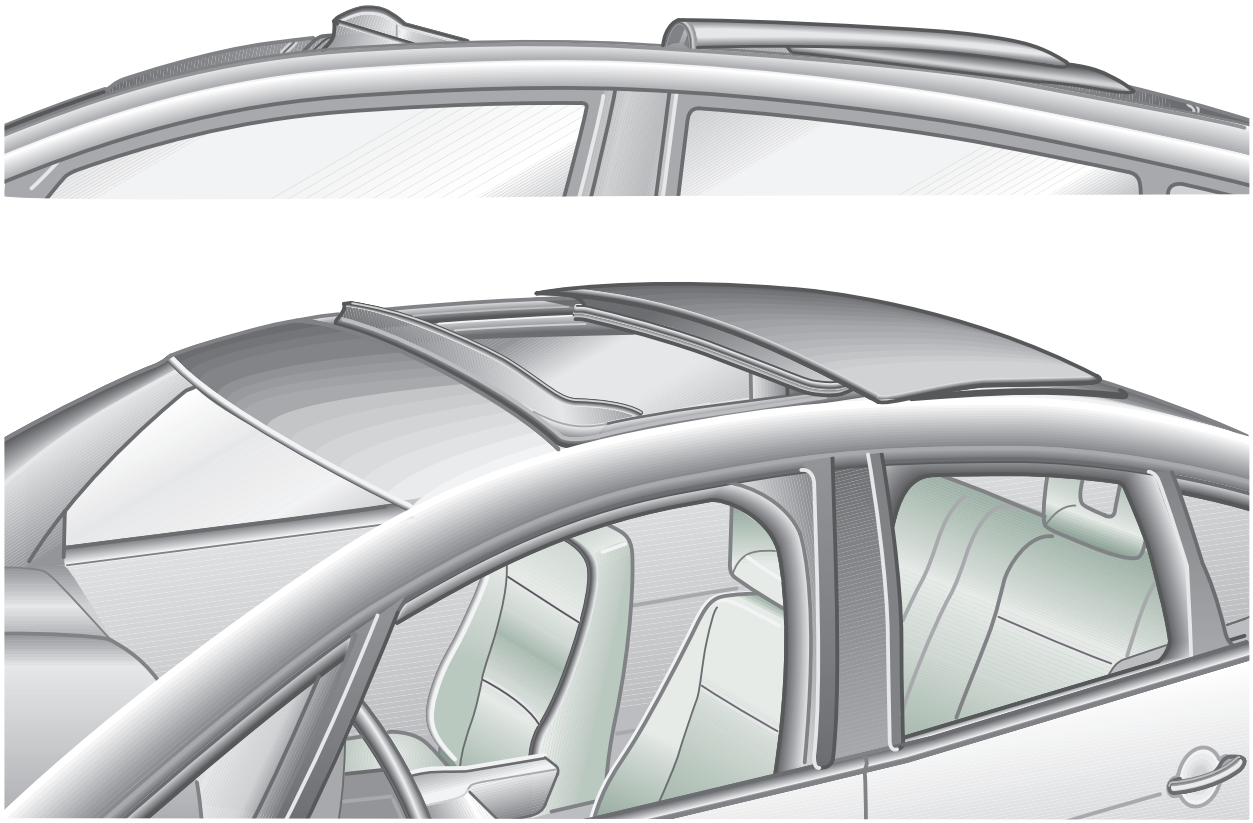
Open Sky

SSP239_038

Toit ouvert à l’avant

Lorsque le toit est ouvert à l’avant, le couvercle en verre avant recouvre le couvercle arrière.

Un déflecteur se relève simultanément. Il évite les bruits de vent dus à l’écoulement de l’air et réduit les courants d’air.



SSP239_039

Toit entièrement ouvert à l'avant et à l'arrière

Lorsque le module vitré est entièrement ouvert, le couvercle en verre avant coulisse sur le couvercle arrière et accompagne ce dernier jusqu'en position de butée. Un coupe-vent coulissant réduit le rayonnement solaire sans pour cela avoir des incidences sur la ventilation et l'aération.

Un système d'écoulement d'eau intégré dans le cadre de pavillon évite l'entrée de l'eau résiduelle lors de l'ouverture du toit ainsi que la pénétration d'eau en cas de pluie ou de passage dans un poste de lavage.

L'ouverture du toit est d'environ 58 % plus importante que celle de systèmes comparables.

Travaux de montage

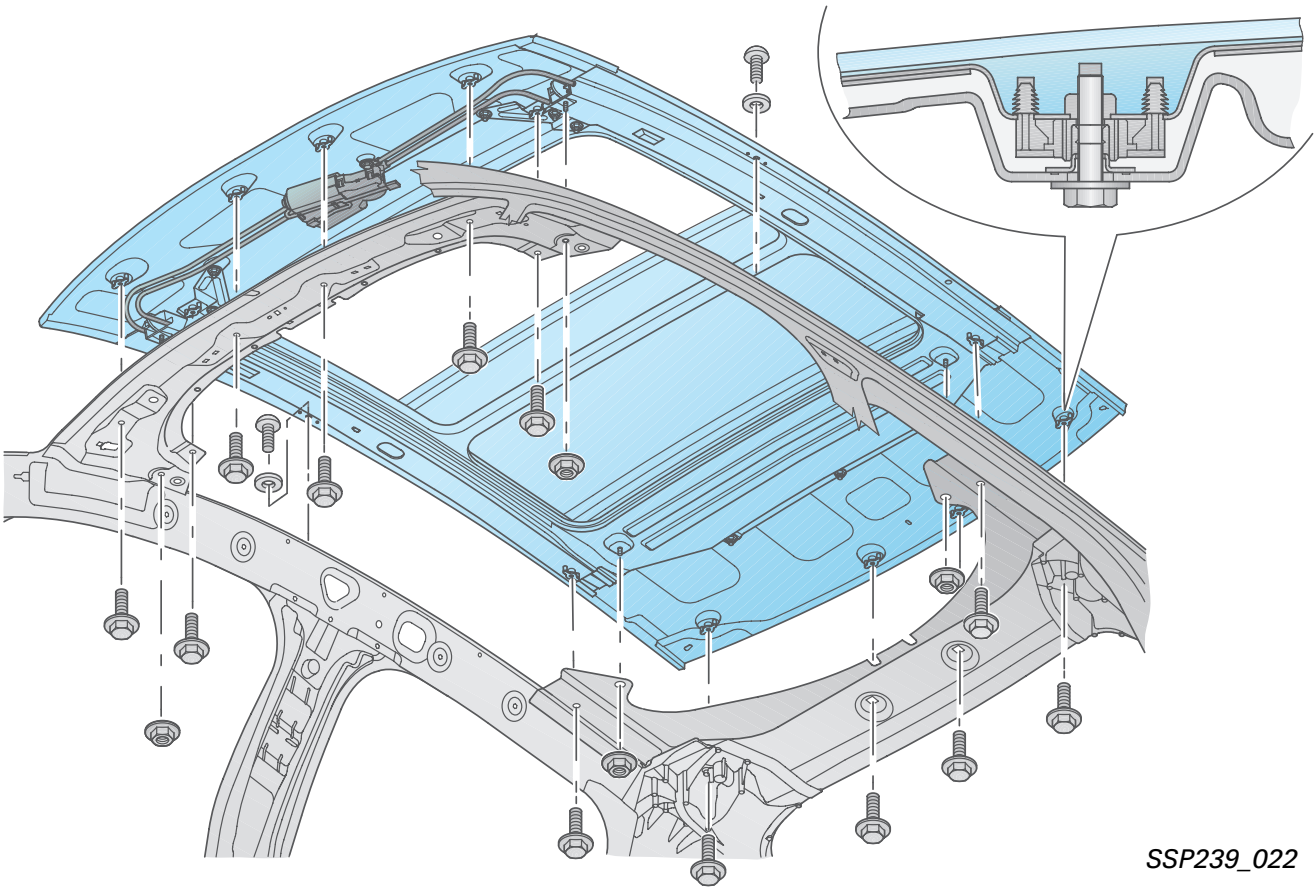
Le toit panoramique à panneaux est monté par le haut sur la coque nue du véhicule et vissé depuis le bas sur cette dernière.

Le réglage en hauteur du module est défini par l'outil spécial VAS 6010 et assuré par des éléments de réglage en hauteur.

Le cadre du module de toit se compose de deux rails de guidage, d'un couvercle en verre fixe à l'avant et à l'arrière et d'un support tubulaire dans lequel transitent les câbles de la commande électrique.

Un joint en mousse assure l'étanchéité requise.

La transition avec le ciel du pavillon est assurée par un cadre de recouvrement fixe, habillé de tissu.



SSP239_022

Protection des occupants

SSP239_093

L'Audi A2 est équipée de série d'airbags grand volume côté conducteur et passager avant.

La conception des systèmes d'airbag, telle que taille du sac gonflable, caractéristique du générateur de gaz ainsi que vitesse de dégonflage après amorçage, a été optimisée et harmonisée à l'aide d'outils virtuels de développement et de simulation.

La structure du panneau latéral est en mesure, par mise en oeuvre de profilés creux bicellulaires et de liaisons tranversales d'un seul tenant, d'absorber des forces élevées pour une profondeur de pénétration faible.

De plus, la structure est assistée par un montant B coulé sous pression sous vide et en une partie, relié à la structure du plancher et à l'assemblage du cadre de pavillon.
Les sollicitations apparaissant en cas de collision latérale sont inférieures aux seuils biomécaniques.

Les responsables en sont des profilés anticollision montés dans les portes et un montant B à déformation programmée.
Ils transmettent les forces générées à la structure de l'habitacle.

L'A2 est équipée de série, aux places avant, de sacs gonflables de protection du thorax et du bassin.
Ces airbags latéraux sont logés dans les dossiers de siège et sont toujours en position d'activation quelle que soit la position du siège.

En option, le système d'airbags rideaux SIDEGUARD complète l'action des airbags latéraux et des protection latérales anticollision aux places avant et arrière.

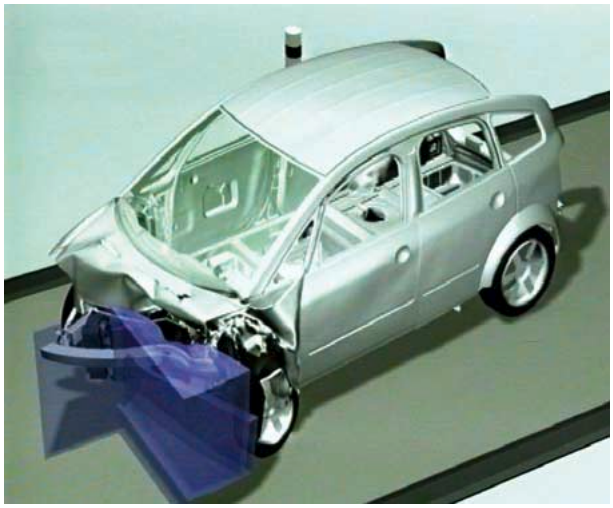
Prétensionneurs à l'avant, limiteurs d'effort de sangle et fixation pour siège pour enfant ISOFIX équipent déjà de série le modèle de base.

Protection des occupants

La simulation est un outil précieux durant la phase d'étude des systèmes de protection des occupants. On détermine à un stade précoce les principaux mécanismes de déformation à partir du comportement de la structure, résultant de calculs CAE.

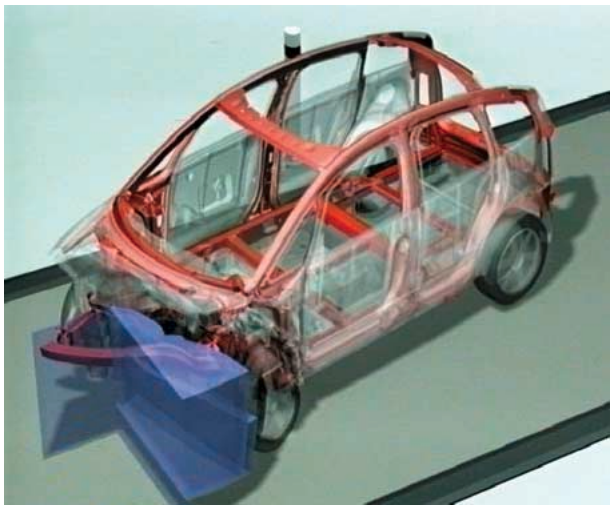
La simulation offre la possibilité de considérer le comportement de la structure et l'action des systèmes de protection des occupants comme un tout et de les optimiser.

Non seulement les exigences définies par la loi sont satisfaites, mais la législation européenne sur les collisions frontales est respectée à vitesse élevée.
A une vitesse d'impact de 64 km/h lors d'une collision à 50 % de recouvrement, la structure du véhicule reste stable au point de permettre l'ouverture sans problème des portes.
Cela représente par rapport aux exigences de la législation, qui stipulent 56 km/h, une énergie d'impact d'environ 30 % plus élevée.



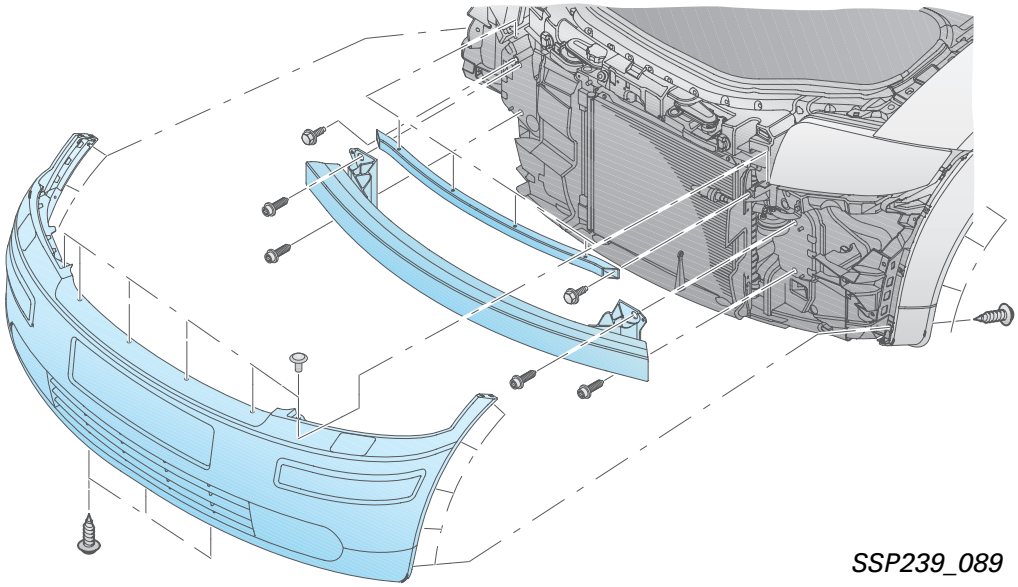
SSP239_094

Les exigences européennes en matière de collision latérale, à savoir impact d'une barrière à amortisseur de choc sur le véhicule à l'arrêt, sont remplies avec une marge de sécurité élevée.
Ces résultats sont obtenus grâce à l'habitacle de conception particulièrement rigide, qui constitue l'espace de survie des occupants.
Le recouvrement des portes avec les montants et le seuil de porte évite que la porte ne coulisse dans l'habitacle.



SSP239_095

En dépit du faible poids de la structure portante, la déformation au niveau du pavillon, même équipé du toit panoramique à panneaux, est très faible et offre une excellente protection en cas de capotage.
Cela est dû à l'alliance intelligente de la technique d'assemblage et de la conception ciblée des éléments de carrosserie.

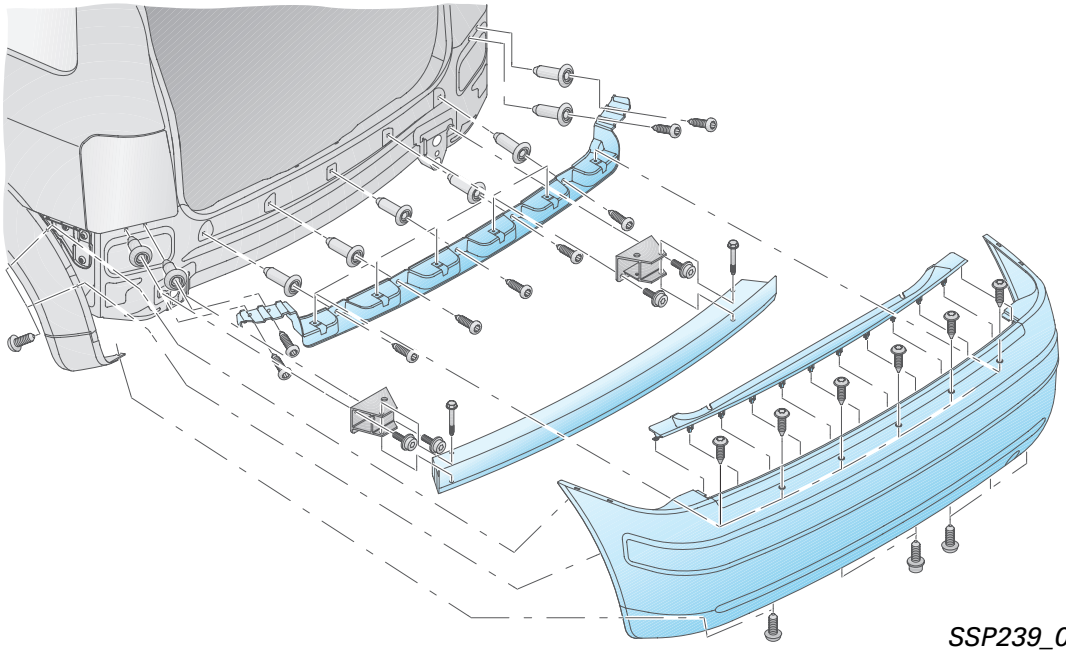


SSP239_089

Le pare-chocs en aluminium, constitué d'un profilé creux multicellulaire, forme avec le système de longerons et la structure de l'habitacle un ensemble anticollision optimisé tant sur le plan du poids que de celui des forces.

Une déformation ciblée dans la zone de l'avant du véhicule réduit l'énergie d'impact sans exercer pour cela d'influence négative sur la stabilité de l'habitacle.

La liaison transversale robuste du pare-chocs permet, en cas de force induite unilatéralement, l'implication du côté opposé au choc dans le processus de déformation.



SSP239_090

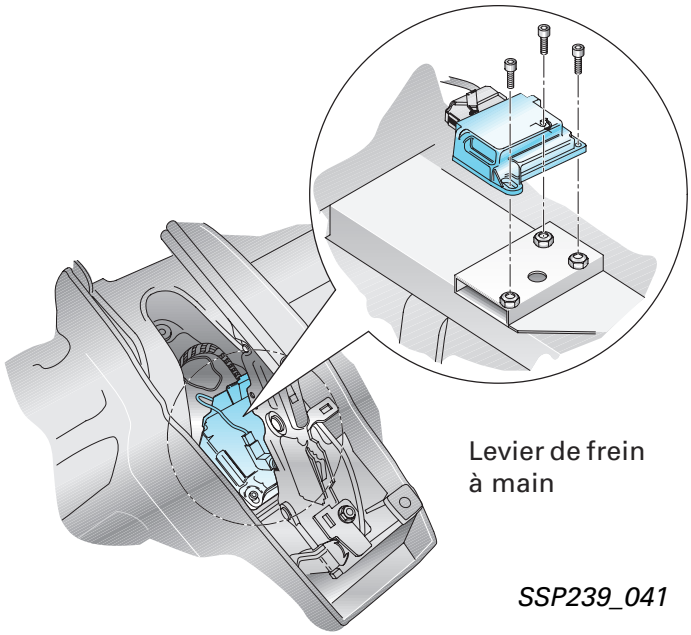
A l'arrière, on a veillé en priorité à la stabilité de la forme dans la zone du système de carburant.
Par utilisation ciblée de profilés extrudés et de composants en aluminium coulés sous pression, il ne se produit en cas de collision qu'une déformation étagée de l'extrémité du véhicule en direction de l'habitacle. La charge supportée par les occupants est nettement inférieure aux seuils admissibles.

Protection des occupants

Appareil de commande d'airbag J234

Un autotest est effectué à chaque fois que l'on met le contact d'allumage. Il permet de surveiller si la périphérie connectée correspond à l'équipement codé.

La décélération se produisant lors d'une collision et enregistrée par l'appareil de commande conditionne le déclenchement des différents systèmes d'airbag. Si la décélération du véhicule est inférieure à la valeur de référence mémorisée dans l'appareil de commande, les airbags ne sont pas déclenchés.



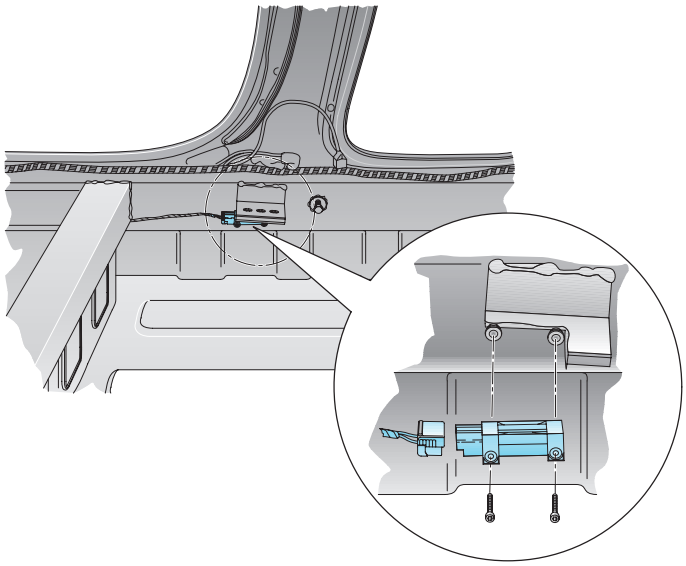
Levier de frein à main

SSP239_041

Capteurs d'accélération transversale G179/ G180

En vue de déterminer avec précision la décélération transversale en cas d'accident, chaque côté du véhicule est doté d'un capteur d'accélération transversale logé dans le montant B. Ces capteurs sont reliés à l'appareil de commande d'airbag J234 et renseignent sur la valeur et le sens de la décélération.

Pour que les étages finals de l'airbag considéré soient pilotés, la plausibilité du signal du capteur doit être vérifiée.



SSP239_042

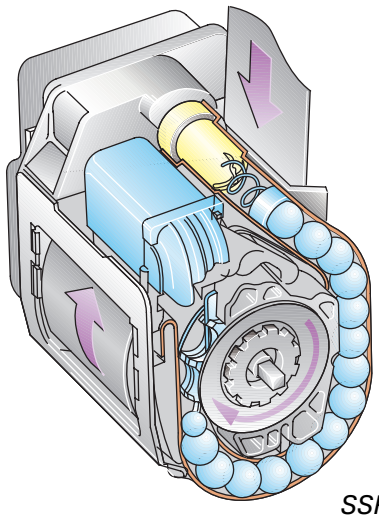
Pour un complément d'information – cf. Programme autodidactique 213, page 9.

Prétensionneur à billes

Les deux ceintures à enrouleur avant sont équipées de prétensionneurs pyrotechniques qui sont déclenchés en cas d'accident, à partir d'une gravité donnée.

Les billes sont entraînées par une charge pyrotechnique. Cette énergie de déplacement est transmise par un pignon à la capsule de la ceinture. Un enroulement de la ceinture élimine le mou de la sangle et réduit la sollicitation des occupants.

Contrôle d'un prétensionneur déclenché :
Un battement est nettement perceptible lorsque l'on secoue le prétensionneur déposé.



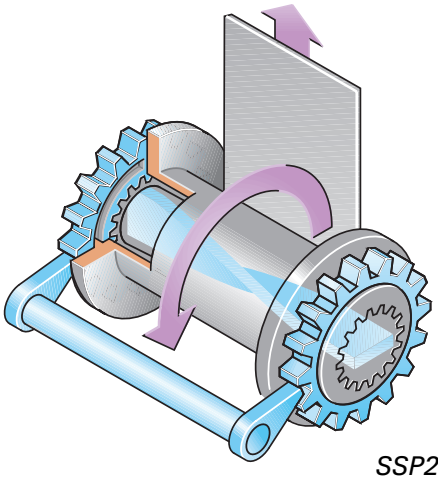
SSP239_048

Limiteur d'effort de la sangle

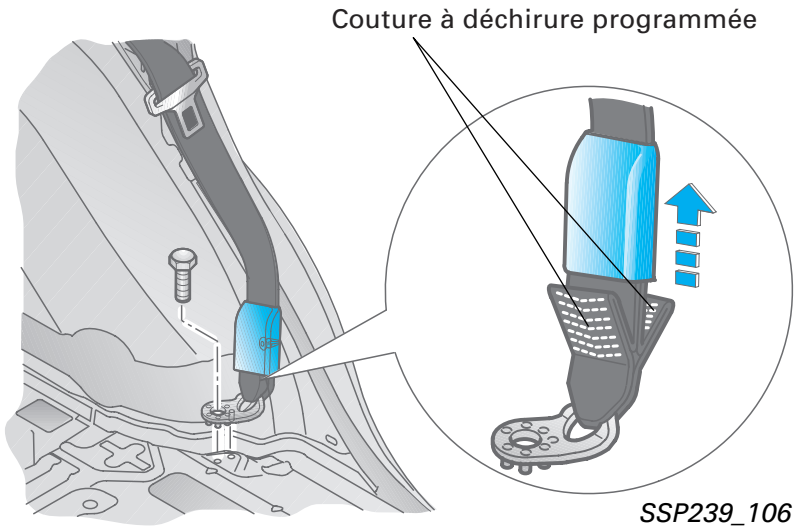
Les limiteurs d'effort de la sangle supplémentaires équipant l'enrouleur avant font en sorte que les forces s'exerçant au niveau de l'épaule soient limitées à un seuil défini, même en cas de collision frontale.

Une longueur de sangle pouvant atteindre 10 cm peut être compensée dans l'enrouleur automatique grâce à une broche de torsion.

Les places arrière latérales sont équipées d'une ceinture de sécurité trois points.
La limitation de l'effort de la sangle est réalisée par une couture à déchirure programmée intégrée dans la ceinture.
Cela permet de réduire la sollicitation imposée aux passagers arrière.

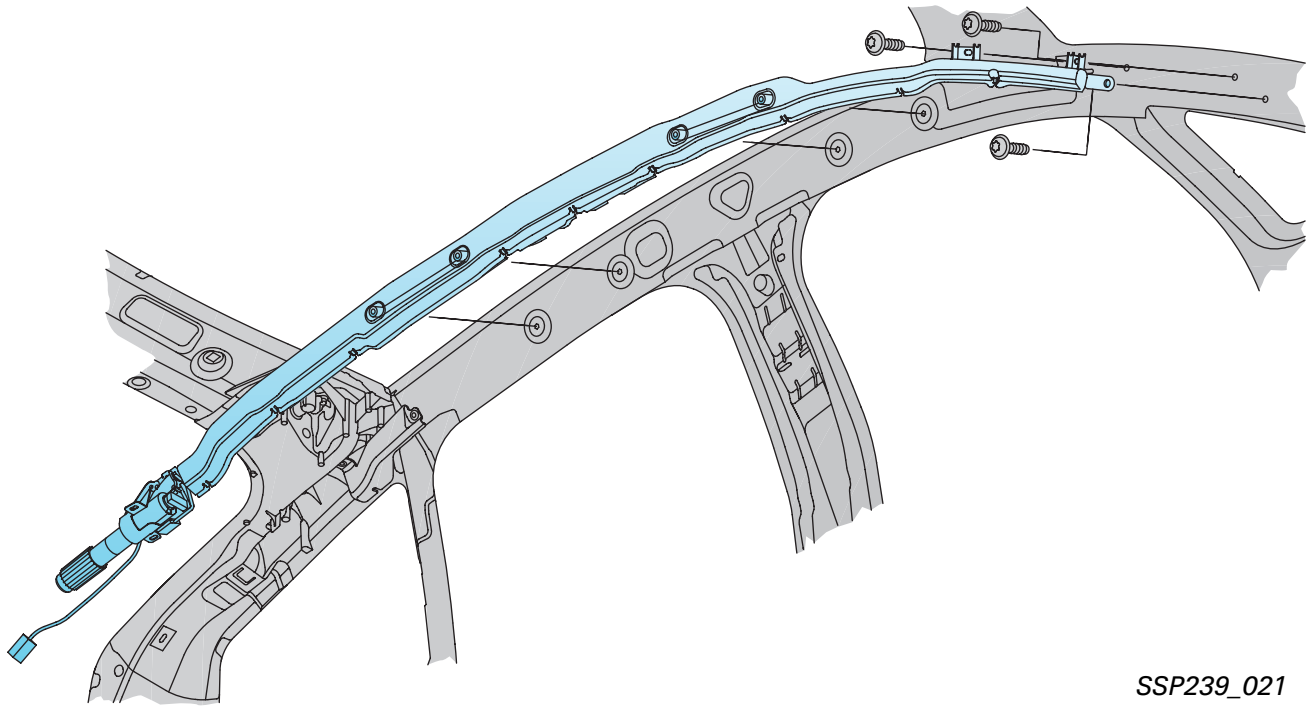


SSP239_046



SSP239_106

Protection des occupants



SSP239_021

Les modules d'airbag rideau sont situés respectivement à gauche et à droite, au-dessus des portes, derrière le ciel de pavillon. L'airbag rideau va du montant D, fixation du module d'amorçage, au montant A. Il se déploie en tant qu'unité le long des glaces latérales.
Suivant la situation de déclenchement, les airbags rideaux sont déclenchés simultanément avec les airbags latéraux du côté du véhicule où a lieu la collision.

Le recouvrement complet des glaces latérales et du montant A protège contre la pénétration des structures de la carrosserie et des glaces éclatées.

L'airbag rideau reste rempli d'air durant environ 5 secondes après déclenchement et protège ainsi d'un capotage ultérieur éventuel.

Système de fixation des sièges pour enfant ISOFIX

La fixation des sièges pour enfant ISOFIX est proposée sur l'A2 aux places arrière latérales de la banquette arrière, en version de base. En option, il est possible de commander, uniquement en relation avec le commutateur à clé de désactivation de l'airbag passager, une fixation ISOFIX pour le siège du passager avant.

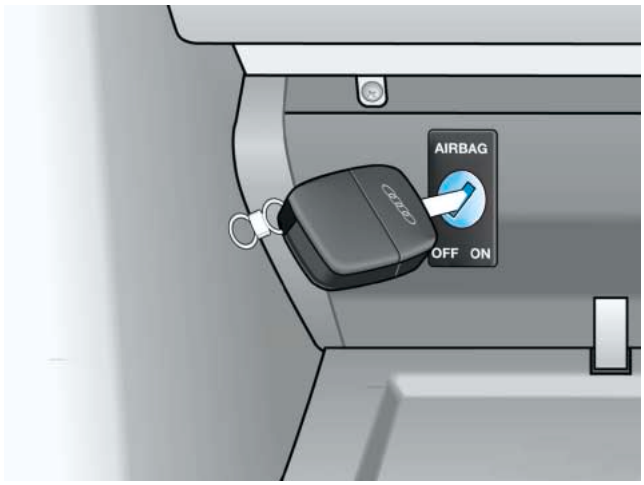
Le système de fixation ISOFIX facilite le montage et le démontage de sièges pour enfant et réduit considérablement les erreurs de montage.

La fixation robuste du siège pour enfant augmente le confort d'assise et offre ainsi un potentiel de protection élevé pour les enfants.

SSP239_043

Commutateur à clé de désactivation de l'airbag (option)

Il est possible, à l'aide d'un commutateur à clé situé dans la boîte à gants (option) de désactiver l'airbag du passager avant.



SSP239_044

La désactivation avec le contrôleur VAS 5051 a priorité sur la désactivation à l'aide du commutateur à clé.

Témoin d'airbag du passager AV désactivé

L'état désactivé de l'airbag du passager avant est indiqué par un témoin d'alerte allumé en permanence.

SSP239_045

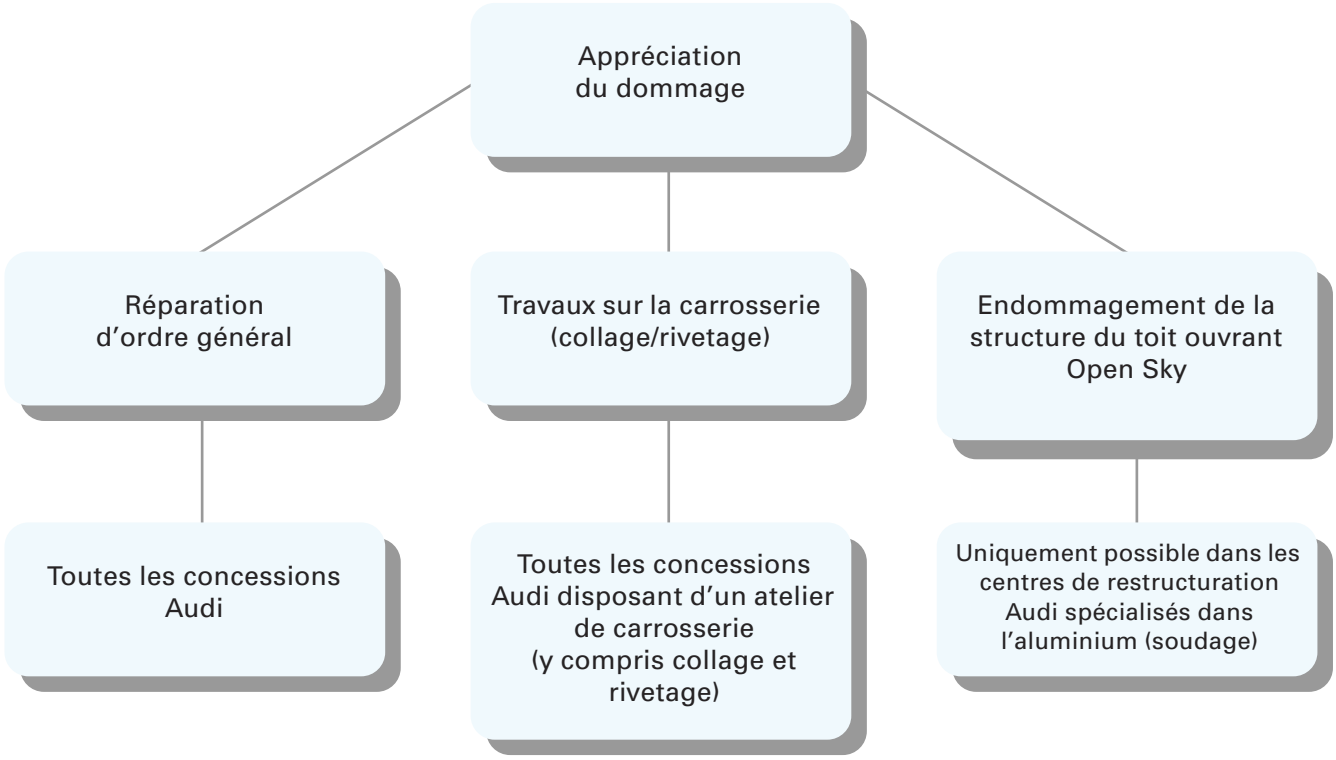
Concept de réparation

Sur la base de l'expérience faite avec le concept de réparation de l'A8, un concept de remise en état tenant compte des particularités de l'A2 a été élaboré.

La structure de la carrosserie, avec des zones de déformation préprogrammées et définies, minimise après un accident les opérations de redressage sur le véhicule. Les sections de réparation sont déterminées par les impératifs de conception.

Cela permet de réduire les temps de réparation et les coûts de remise en état, en dépit du fait qu'il s'agit d'une nouvelle technique de carrosserie, sont inférieurs ou s'inscrivent dans le même cadre que celui d'une carrosserie acier classique.

En fonction du type d'avarie, il faudra s'adresser à une concession équipée et qualifiée pour réparer le dommage.


Appréciation du dommage
Réparation d'ordre général
Travaux sur la carrosserie (collage/rivetage)
Endommagement de la structure du toit ouvrant Open Sky
Toutes les concessions Audi
Toutes les concessions Audi disposant d'un atelier de carrosserie (y compris collage et rivetage)
Uniquement possible dans les centres de restructuration Audi spécialisés dans l'aluminium (soudage)

Nouveaux équipements d'atelier pour :

Travaux d'ordre général

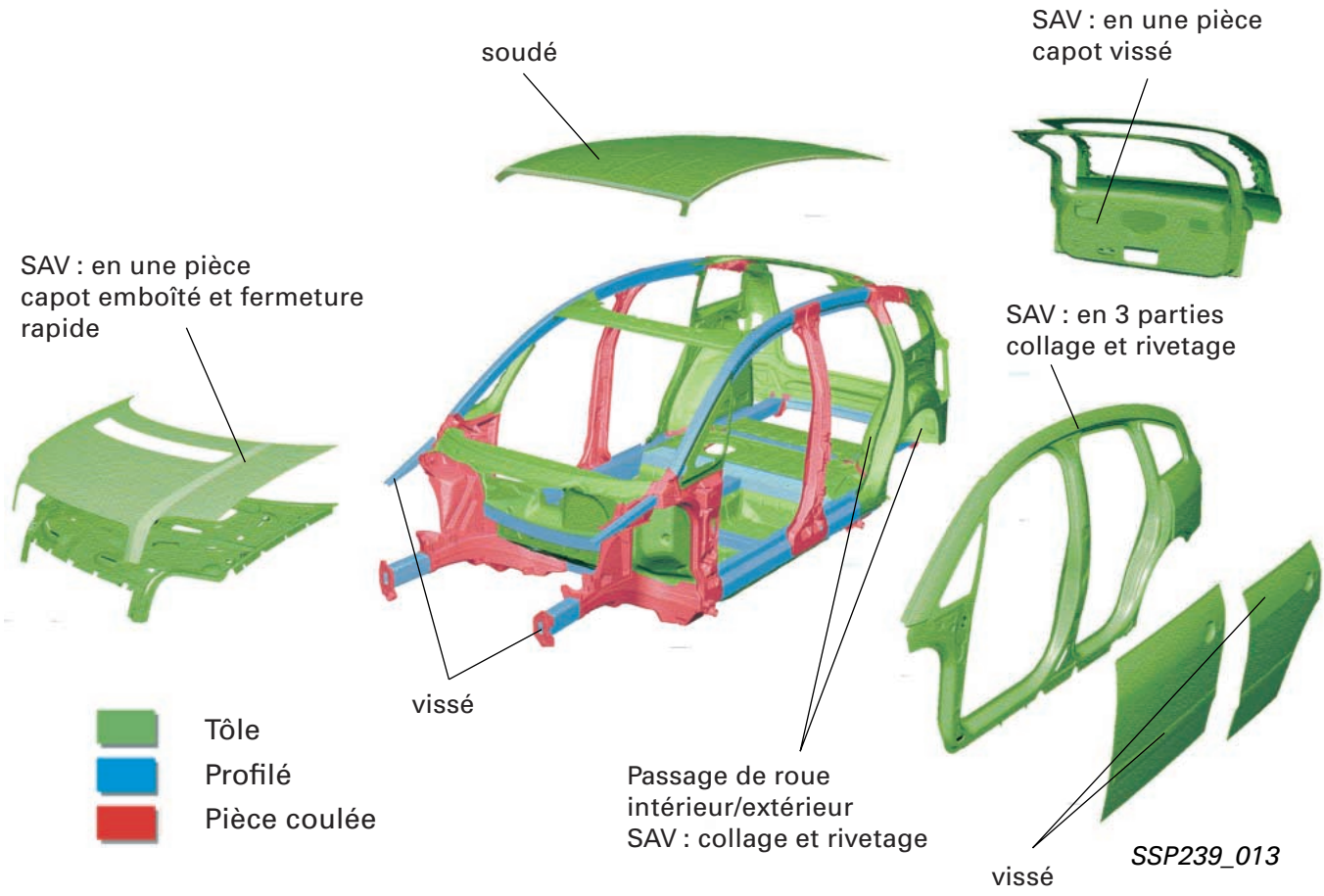
- Support/prise du front top

Travaux de carrosserie

- Compléments pour la pince pneumatique de rivetage V.A.G 2002

Endommagement de la structure ou du toit Open Sky

- Dispositif de montage pour toit Open Sky VAS 6010
- Compléments du poste de soudage aluminium V.A.G 2001
- Compléments du portique VAS 5007
- Jeu d'équerre de redressage VAS 5195



Pour la remise en état de l'A2, il est fait appel, en fonction des différents demi-produits mis en oeuvre (tôles, profilés, pièces coulées) à des concepts différents.

Les tôles présentant de faibles déformations peuvent être redressées. Les tôles présentant une déformation plus marquée peuvent être remplacées dans leur totalité ou par sections.

Les techniques d'assemblage utilisées sont le rivetage combiné avec le collage (colle à deux composants durcissant à froid).

Les rivetages par poinçonnage existants, au niveau du panneau latéral par exemple, sont percés à l'aide d'un outil spécial et remplacés par un rivet plein ou borgne.

Tous les rivets neufs doivent être simultanément collés avec de la colle à deux composants.

Le masticage et la mise en peinture se font suivant la même procédure que dans le cas des véhicules Audi A8 .

Concept de réparation

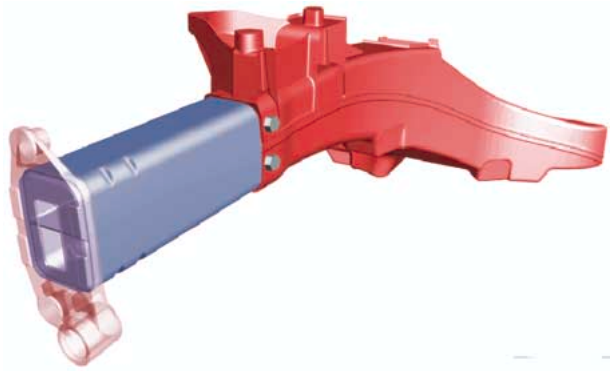
Les échelonnements de rigidité dans les zones de la carrosserie menacées en cas d'accident ont pour but de réduire la pénétration du dommage et les frais de réparation s'y rapportant.

La conception de l'avant du véhicule suit ce principe.

L'un des concepts de réparation déjà utilisé sur l'Audi A8 est le remplacement de pièces vissées (cf. page 58).

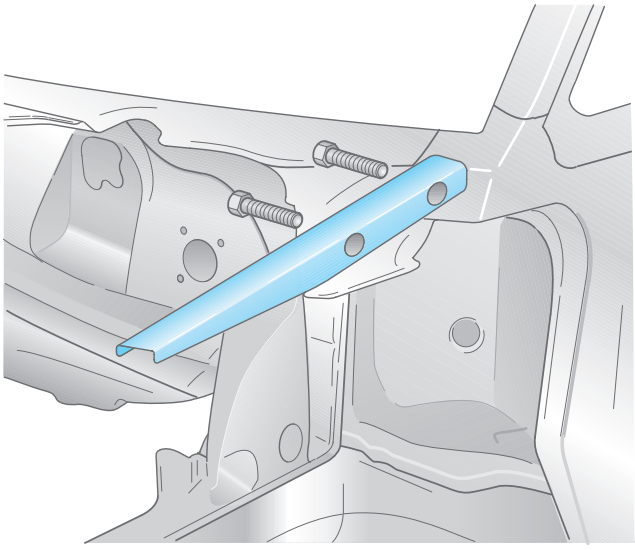
Le longeron avant, p. ex. est, au niveau de la structure de l'avant du véhicule, le composant le plus faible.
En raison de la construction vissée du longeron avant, un remplacement relativement modique et rapide sans opération d'assemblage supplémentaire est possible en cas de faibles déformations.

Ce n'est que lorsque le longeron arrière consécutif a absorbé son énergie de déformation maximale que la force de déformation peut atteindre l'habitacle.



SSP239_019

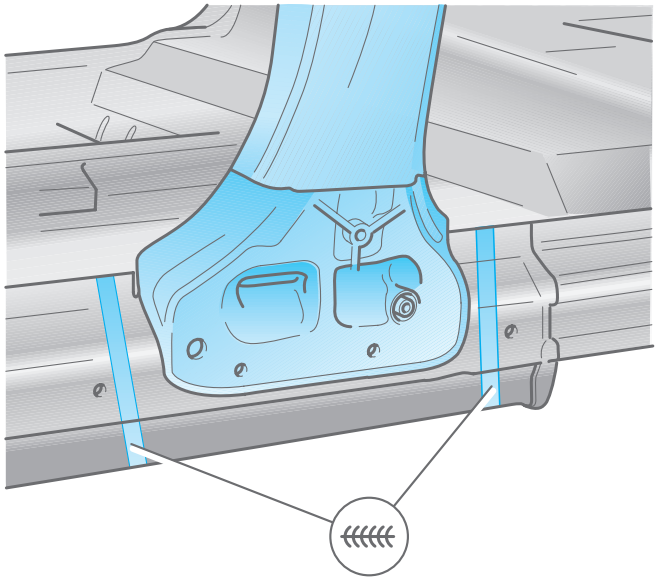
Le même principe a été appliqué dans la zone des ailes. Le remplacement du banc d'aile vissé et de la bordure garantit une réparation rapide et économique.



SSP239_105

Remplacer systématiquement les pièces coulées endommagées.

Pour des raisons de résistance, il n'est pas autorisé de redresser ces pièces.



SSP239_098

Du fait de la rigidité élevée, on court le risque de formation de fissures.

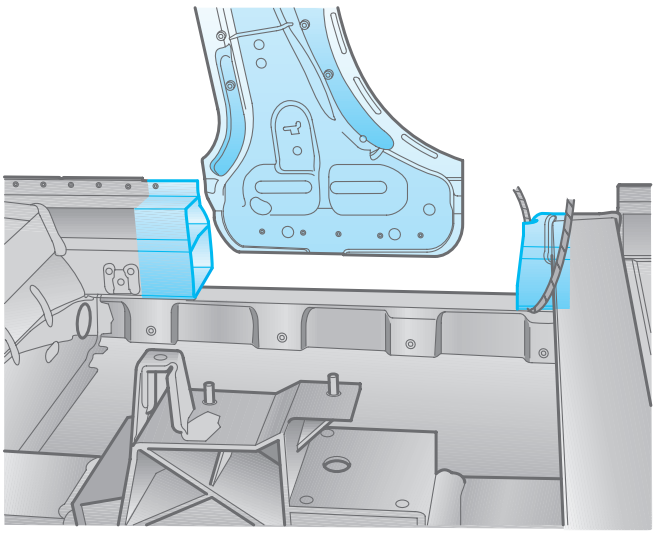
Les méthodes d'assemblage utilisées sont le soudage sous gaz de protection (MIG), le rivetage et le collage.

Le déroulement d'une réparation est présenté en prenant pour exemple le montant B.

Les profilés extrudés doivent être remplacés en cas d'endommagement. Le redressage n'est pas contrôlable à ce niveau.

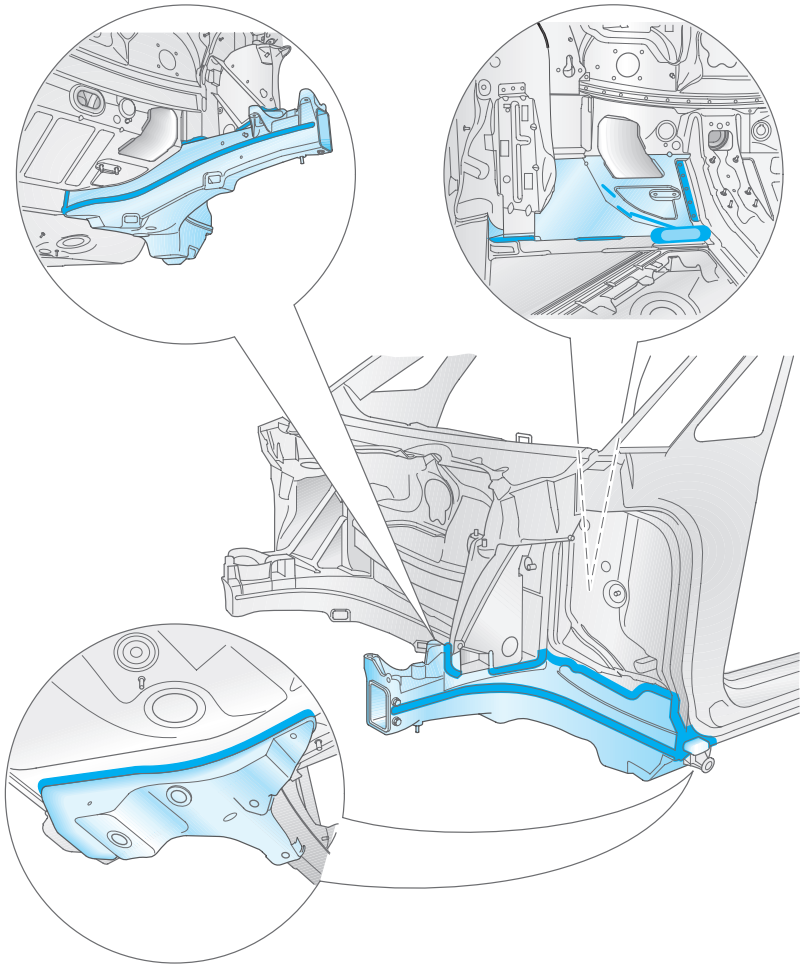
Le remplacement s'effectue par sections suivant la nature de l'endommagement et moyennant l'utilisation de manchons dans la zone de découpe (cf. page 59) ou bien concerne la totalité de la pièce.

Les profilés et sections de profilés remplacés sont assemblés par soudage sous gaz de protection (MIG).



SSP239_099

Concept de réparation



SSP239_100

Lors du contrôle des pièces endommagées, il faut vérifier avec soin l'état des cordons de soudure et des pièces coulées et rechercher les fissures éventuelles.

Le contrôle de la formation de fissures de surface s'effectue par pénétration d'un agent de coloration.

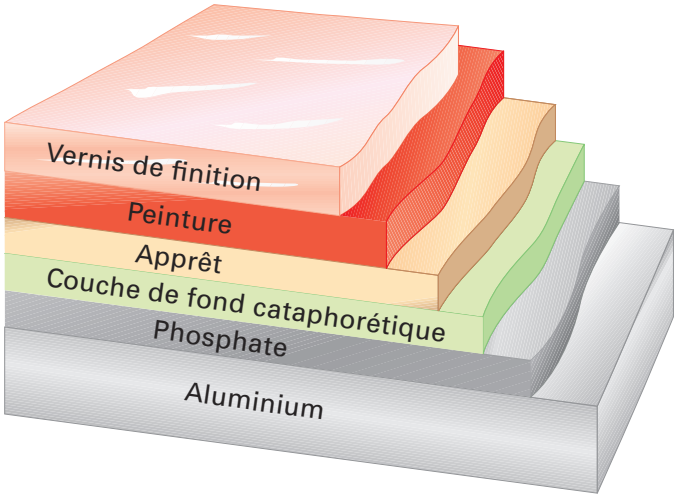
Notes

Peinture

Après finition de la coque nue et traitement thermique, la carrosserie est nettoyée et préparée, avec une couche de phosphatation à 3 cations constituant une pellicule (Zn = zinc, Ni = nickel, Mg = manganèse), en vue de l'application cataphorétique au plongé de peinture suivante.

Par modification de la phosphatation (adjonction de fluorides), les carrosseries entièrement galvanisées en acier et en aluminium doivent peuvent être prétraitées ensemble en vue de la formation de la couche.

L'application cataphorétique au plongé de la couche de fond, l'apprêt et la couche de finition sont identiques pour toutes les carrosseries. Les travaux de retouche éventuels des défauts de mise en peinture sont traités pour les carrosseries aluminium de la même manière que pour les carrosseries galvanisées.
Toutes les carrosseries sont traitées sur la même ligne de peinture.

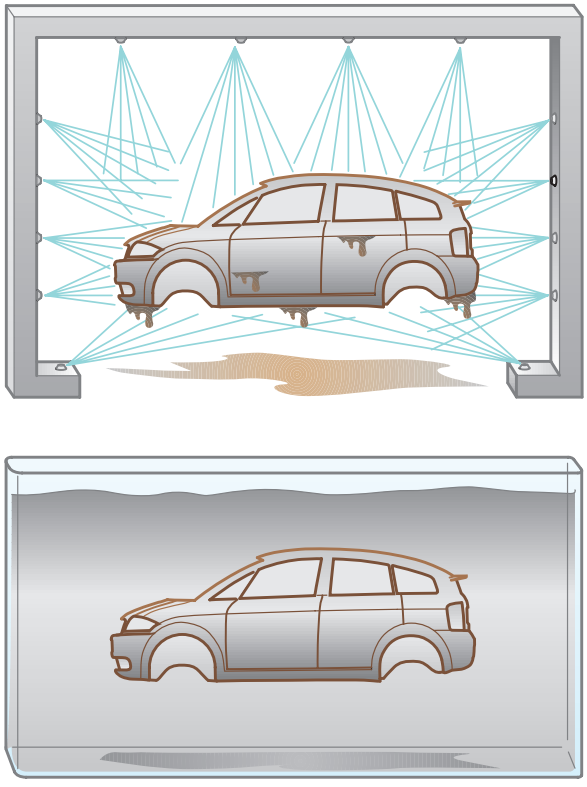


SSP239_064

Prétraitement des tôles : nettoyage et dégraissage

Lors de la mise en peinture en production, la coque est tout d'abord nettoyée et dégraissée. La coque est plongée dans un bain de nettoyage puis des solutions dégraissantes sont projetées.

Après rinçage et séchage, tous les résidus de graisse sur la carrosserie sont éliminés.



SSP239_067

Phosphatation

Durant la phosphatation, la carrosserie est immergée dans des bains contenant diverses solutions de sels de phosphate.

Une couche cristalline métal-phosphate se forme alors sur la tôle de la carrosserie. Elle conditionne l'adhérence optimale et la protection anticorrosion.

Couche de fond cataphorétique au plongé

Après phosphatation, la carrosserie reçoit une couche de fond cataphorétique qui offre une excellente protection contre l'oxydation.

La cataphorèse (migration de particules chargées électriquement dans un liquide) est un procédé électrique également appelé électrophorèse (transport de particules chargées électriquement par le courant électrique).

La carrosserie est entièrement immergée dans un bain composé d'une solution peinture-électrolyte.
Elle est reliée au pôle négatif d'une source de courant continu. Le pôle positif est constitué d'une série d'anodes placées autour du bassin.

Dans le champ électrique, les particules de peinture chargées positivement se déposent sous l'effet des forces électromagnétiques sur la carrosserie chargée négativement.

Avantages

– Revêtement de toutes les surfaces extérieures, intérieures et corps creux.

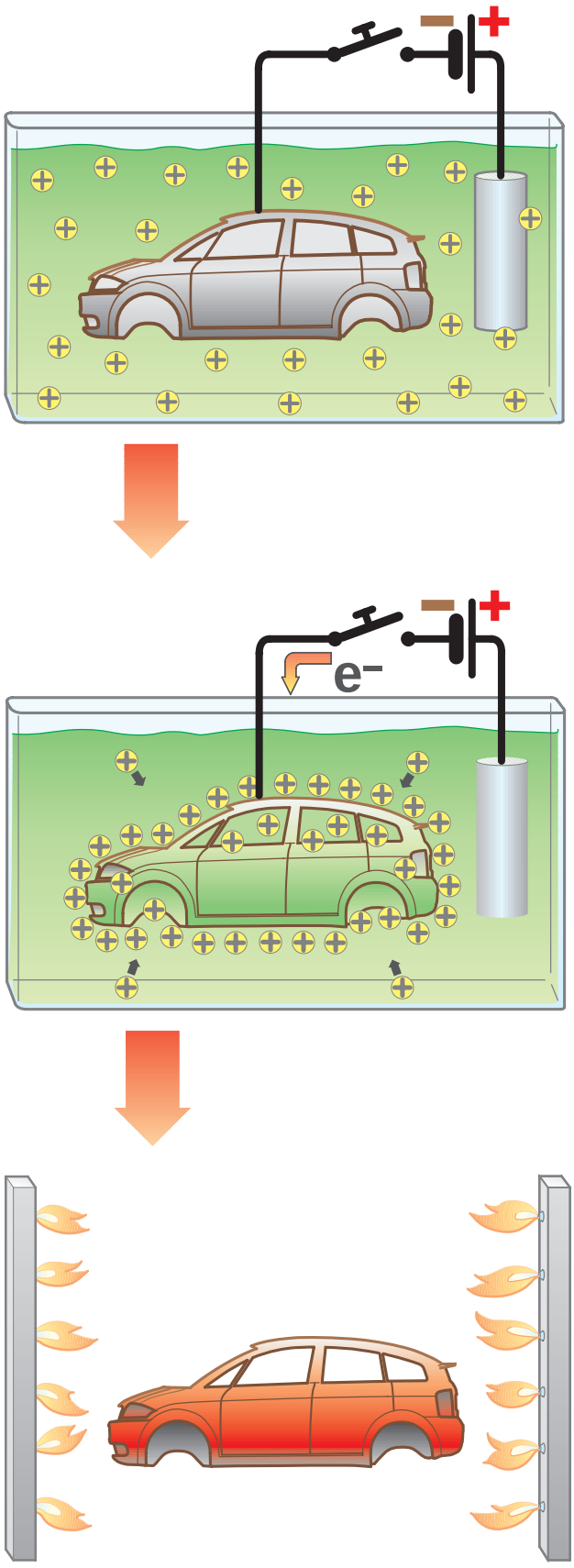
– Epaisseur de couche régulière.

Dans le cas de la couche de fond cataphorétique au plongé, une couche de peinture d'une épaisseur maximale de 20 µm est appliquée sur la carrosserie.

Dans les zones de rinçage consécutives, les résidus de peinture non adhérents sont éliminés.
Le dernier rinçage s'effectue à l'eau entièrement déminéralisée.

La carrosserie exempte de gouttes d'eau passe à l'étuve. La couche de fond cataphorétique y durcit à 180 °C.

Les pièces livrées d'usine sont également traitées par cataphorèse.



SSP239_068

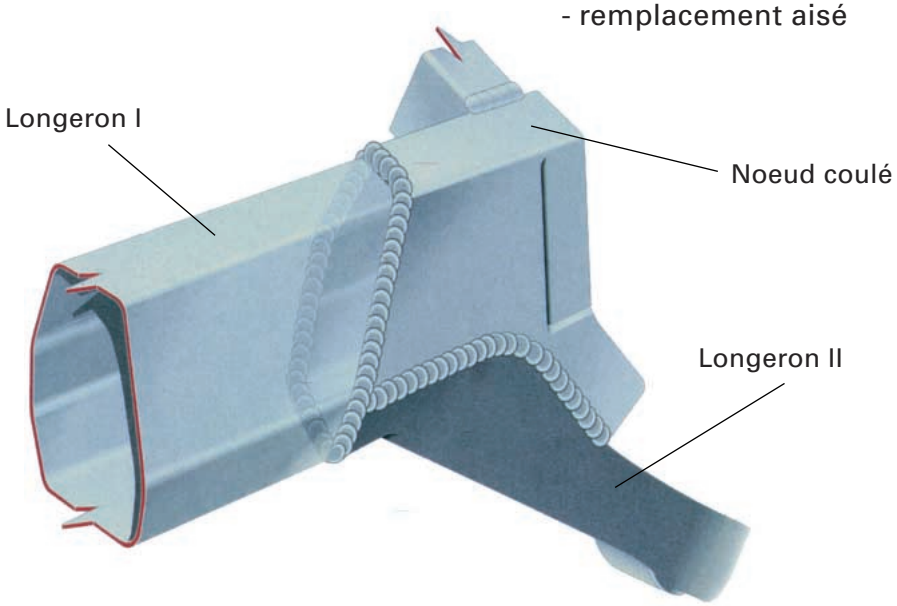
L'ASF® de l'Audi A8

Longeron II

Ce noeud coulé relie les longerons I et II avec le tablier d'auvent, le cadre-plancher et la coquille de passage de roue.

Avantages des pièces en aluminium coulées sous pression

- réduction du nombre de pièces
- grande précision
- bon ajustage
- remplacement aisé

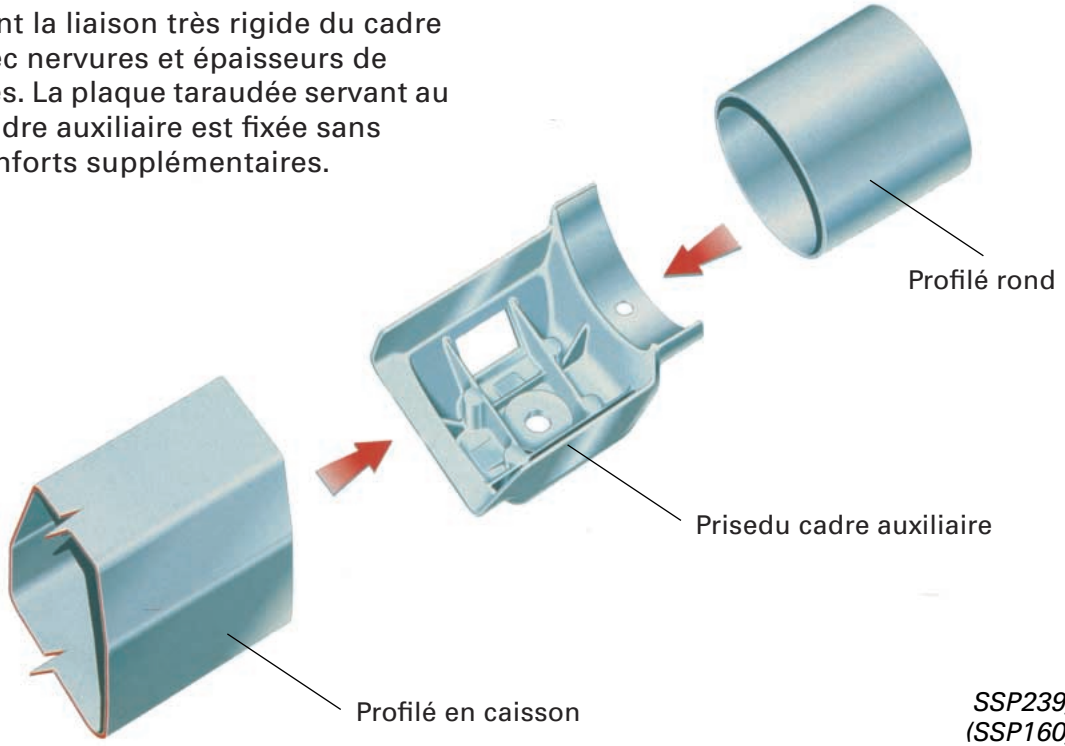


SSP239_074
(SSP160_020)

Prise avant du cadre auxiliaire

La pièce réalise une liaison rigide, à engagement positif, entre deux géométries de profilé totalement différentes et constitue simultanément la liaison très rigide du cadre auxiliaire, avec nervures et épaisseurs de paroi variables. La plaque taraudée servant au vissage du cadre auxiliaire est fixée sans support ni renforts supplémentaires.

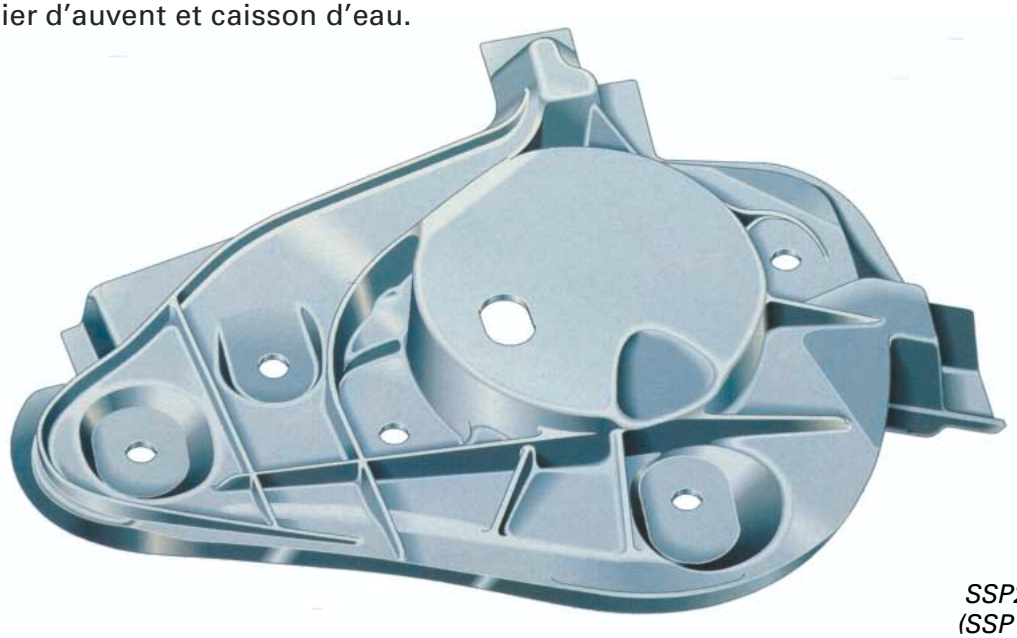
La déformation en plis lors d'une collision des profilés extrudés est reproductible (calculable).



SSP239_075
(SSP160_018)

Prise de la jambe de force avant

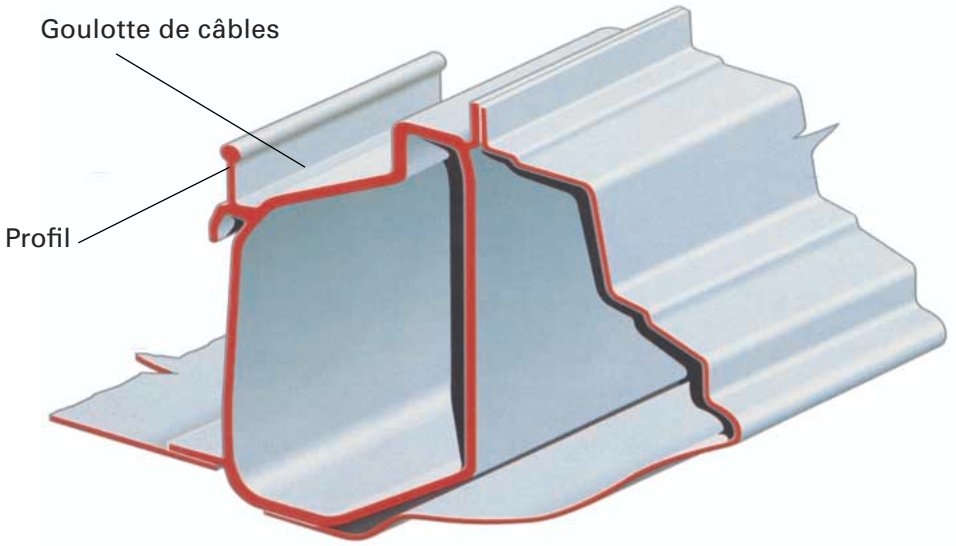
Il s'agit d'un élément de géométrie extrêmement complexe comportant un grand nombre de liaisons et présentant une rigidité très importante. C'est le point de liaison entre longeron, tablier d'auvent et caisson d'eau.



SSP239_076
(SSP160_019)

Coupe du seuil de porte

Un profilé fermé à épaisseurs de paroi variables sur la circonférence permet une section aussi importante que possible, réalisable vu l'espace disponible, et la meilleure utilisation du matériau.
Le profil intégré sert de goulotte de câbles.



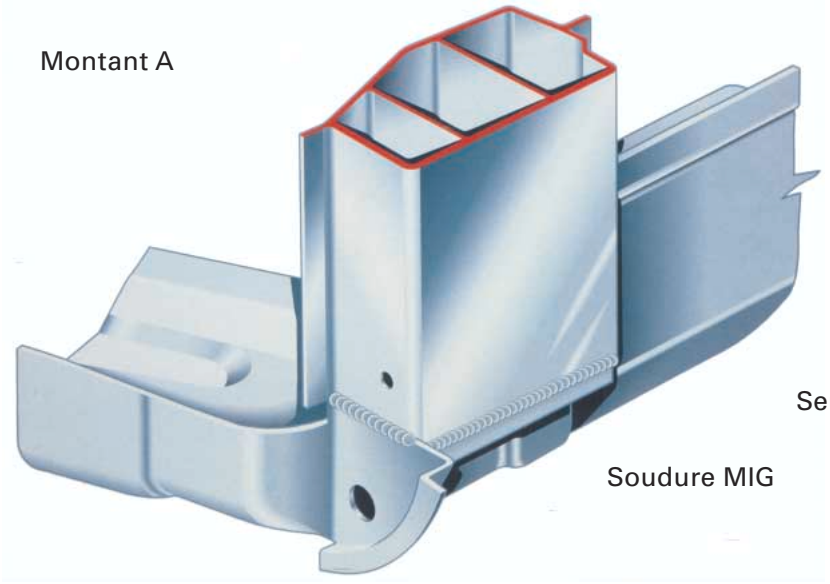
SSP239_077
(SSP160_021)

Le montant A inférieur

Le montant A est, en raison des exigences de sécurité élevées, un profilé multicellulaire. Dans la zone inférieure, il relie passage de roue, bras du longeron, seuil de porte et cadre-plancher.

La plupart des assemblages sont réalisés par soudage MIG et réalisent une liaison très rigide. Cette construction permet de réduire le nombre de composants individuels.

Un type de carrosserie comparable n'est pas réalisable en acier (poids).

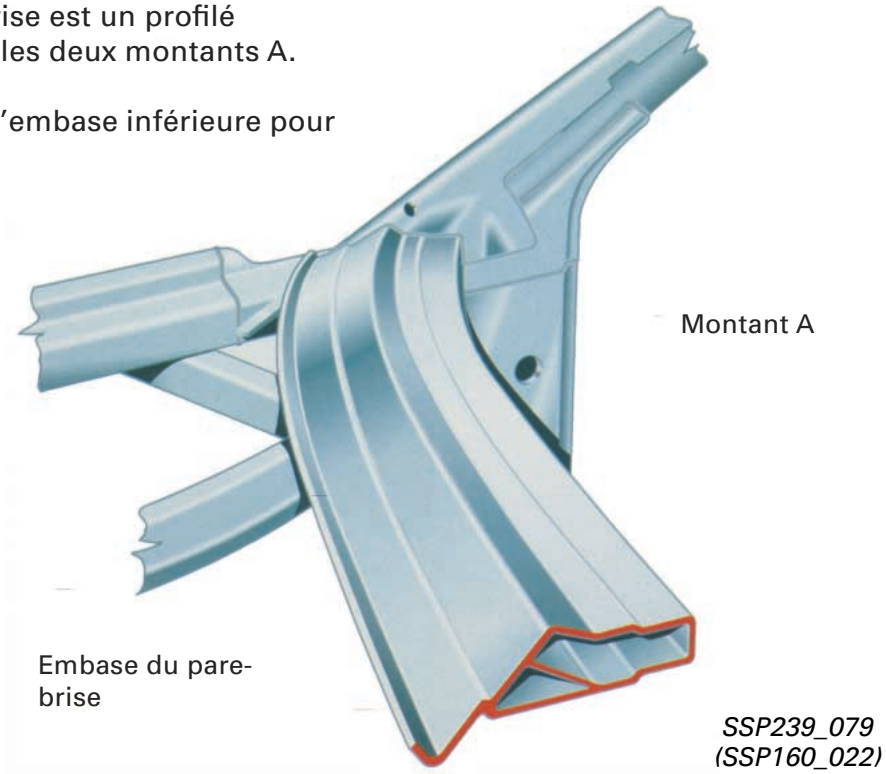


SSP239_078
(SSP160_023)

Console de pare-brise, auvent

La console de pare-brise est un profilé extrudé cintré reliant les deux montants A.

Elle sert par ailleurs d'embase inférieure pour le pare- brise.

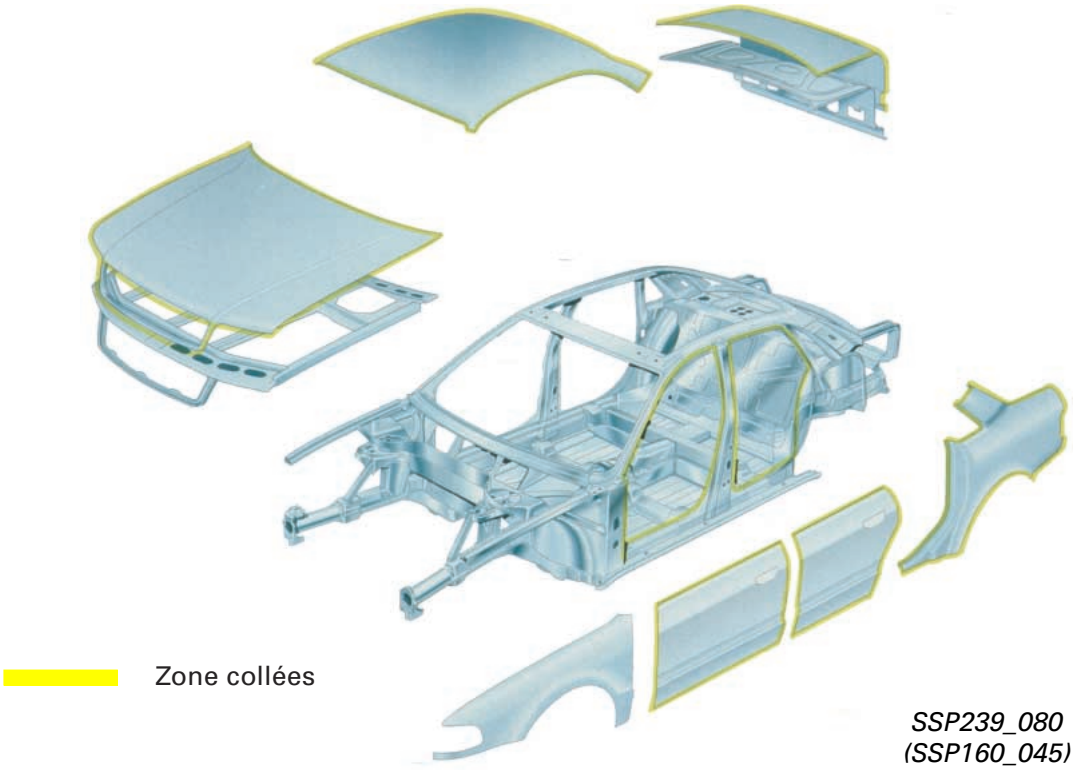


SSP239_079
(SSP160_022)

Collage

Le collage, en tant que technique d'assemblage, est mis en oeuvre sur l'A8 au niveau des portes et capots. On utilise une colle époxy, comme pour les portes et capots des modèles acier.
La colle époxy modifiée est utilisée sur les flasques de liaison dans la zone de la découpe de porte, du plancher et du support de jambe de force.

L'un des avantages de la combinaison "collage et assemblage par rivetage et poinçonnage" tient au fait que cette technique, utilisée dans la zone collée, ne génère pas, comme le soudage par points, des fumées qu'il faut aspirer, et que la colle ne risque pas de brûler.

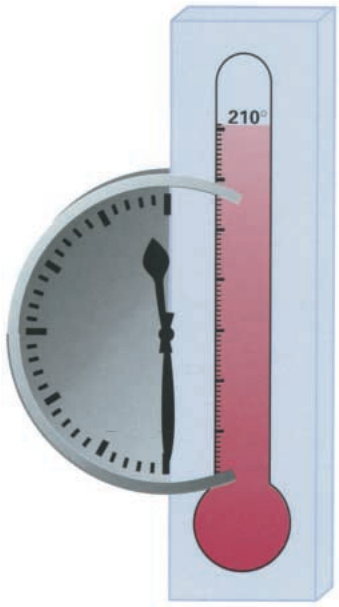


SSP239_080
(SSP160_045)

La coque nue est complétée par montage des pièces rapportées.

En vue de réaliser la rigidité requise, un traitement thermique de la carrosserie en aluminium s'impose.

La carrosserie est alors réchauffée durant 30 minutes à une température de 210 °C ; c'est ce que l'on qualifie de durcissement thermique.

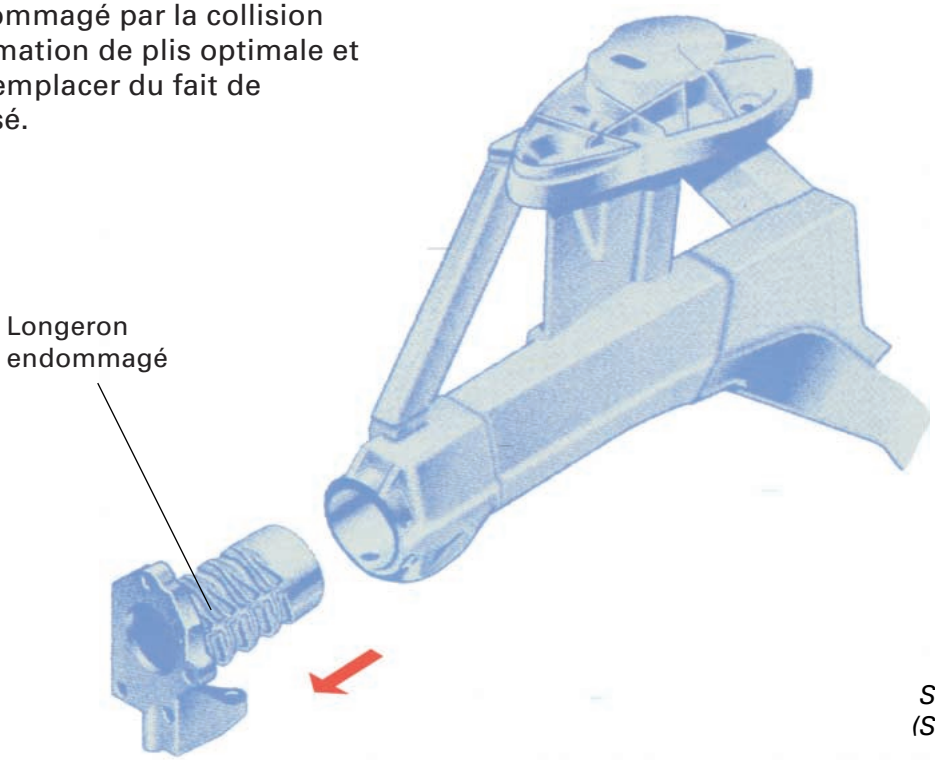


SSP239_081
(SSP160_026)

Concept de réparation

Sectionnement d'un longeron endommagé

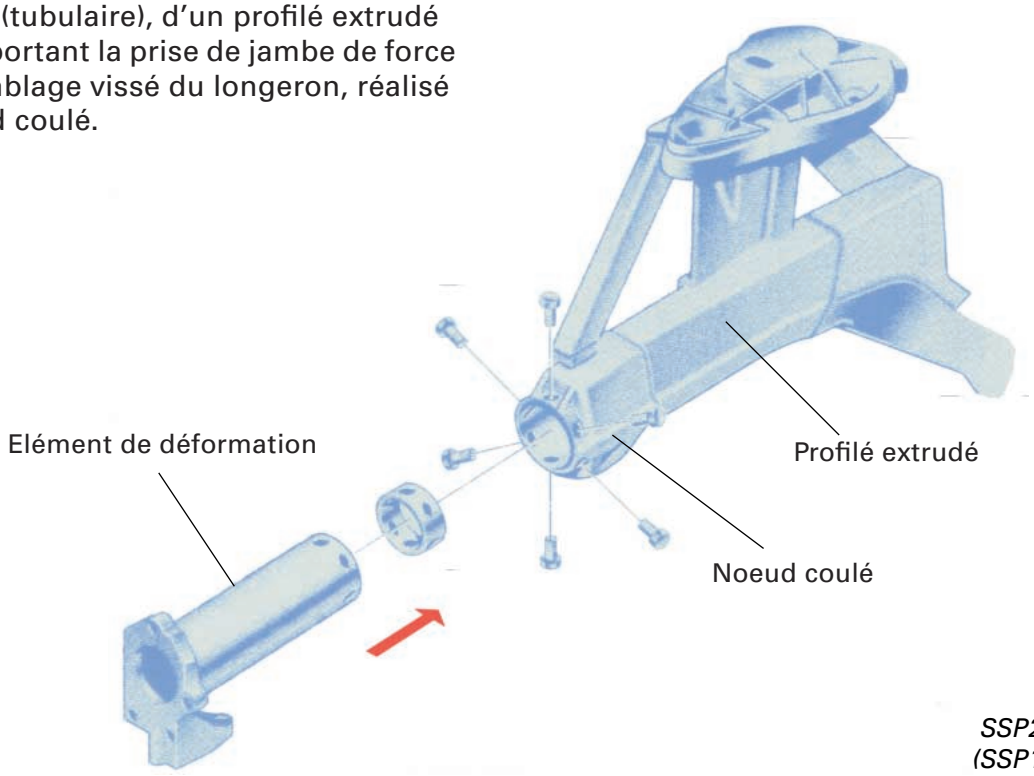
Le longeron endommagé par la collision présente une formation de plis optimale et est très facile à remplacer du fait de l'assemblage vissé.



SSP239_082
(SSP160_043)

Vissage du longeron

Le longeron avant est constitué de trois éléments. Il s'agit de l'élément de déformation (tubulaire), d'un profilé extrudé robuste supportant la prise de jambe de force et de l'assemblage vissé du longeron, réalisé par un noeud coulé.



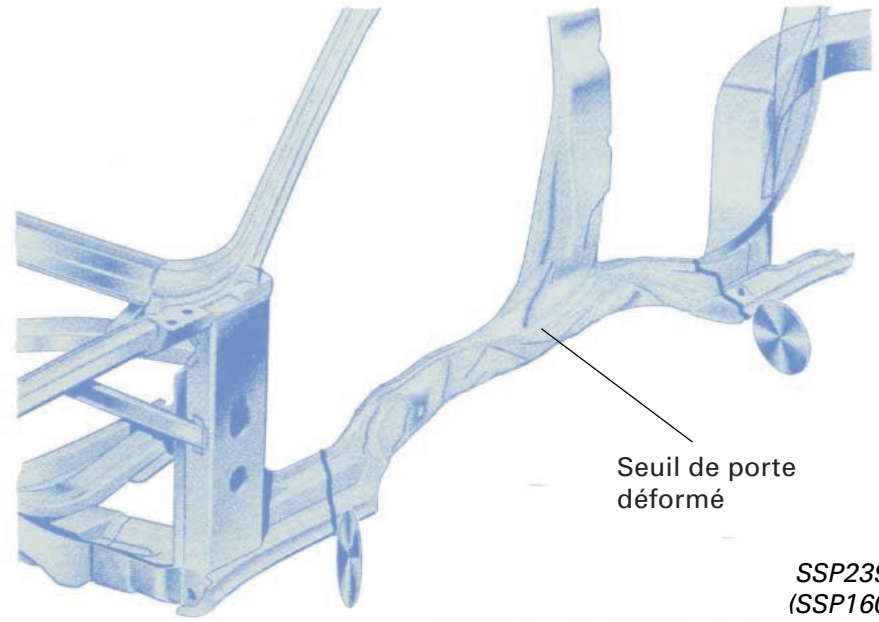
SSP239_085
(SSP160_044)

Remplacement du seuil de porte

Le profilé extrudé du seuil de porte est remplacé sous forme de pièce partielle (en fonction de l'endommagement).

On sectionne le profilé extrudé déformé et on soude la pièce de rechange en utilisant des manchons.

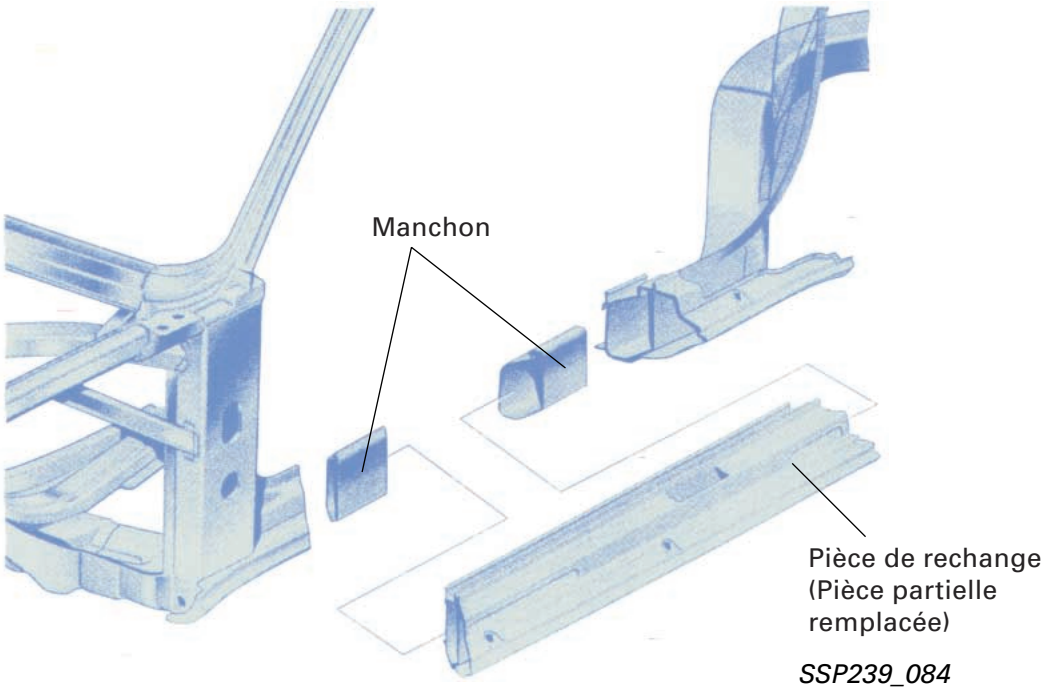
Les noeuds coulés ne sont pas endommagés et cela permet une réparation économique.



SSP239_083
(SSP160_046)

Remplacement du seuil de porte

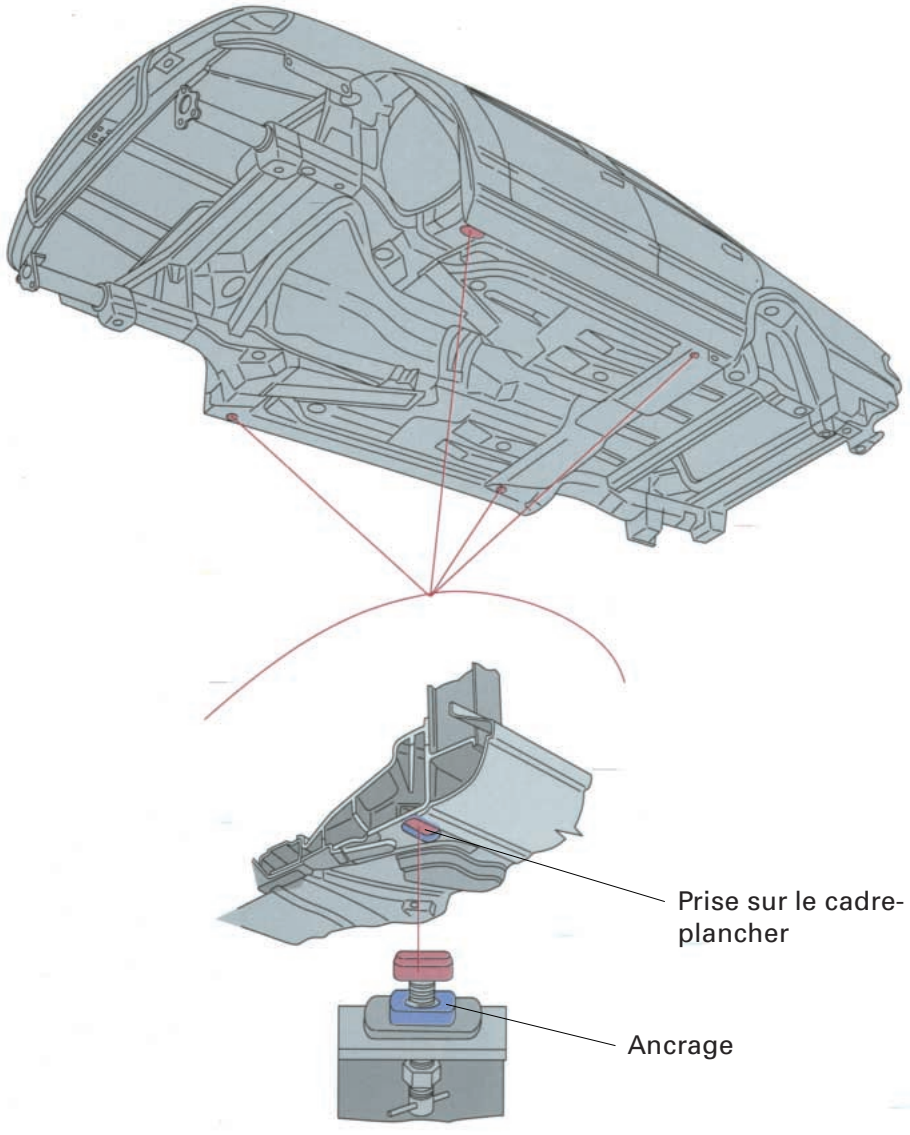
En cas de collision latérale, la construction "noeud coulé et profilé extrudé" présente un comportement exemplaire.



SSP239_084
(SSP160_047)

Jeu d'ancrage (4 pièces)

Les ancrages réglables en trois dimensions permettent une fixation simple et rapide du véhicule.



SSP239_087

Les travaux de remise en état sur la carrosserie ne doivent actuellement être effectués que sur un marbre Celette.

Jeu de têtes de redressage

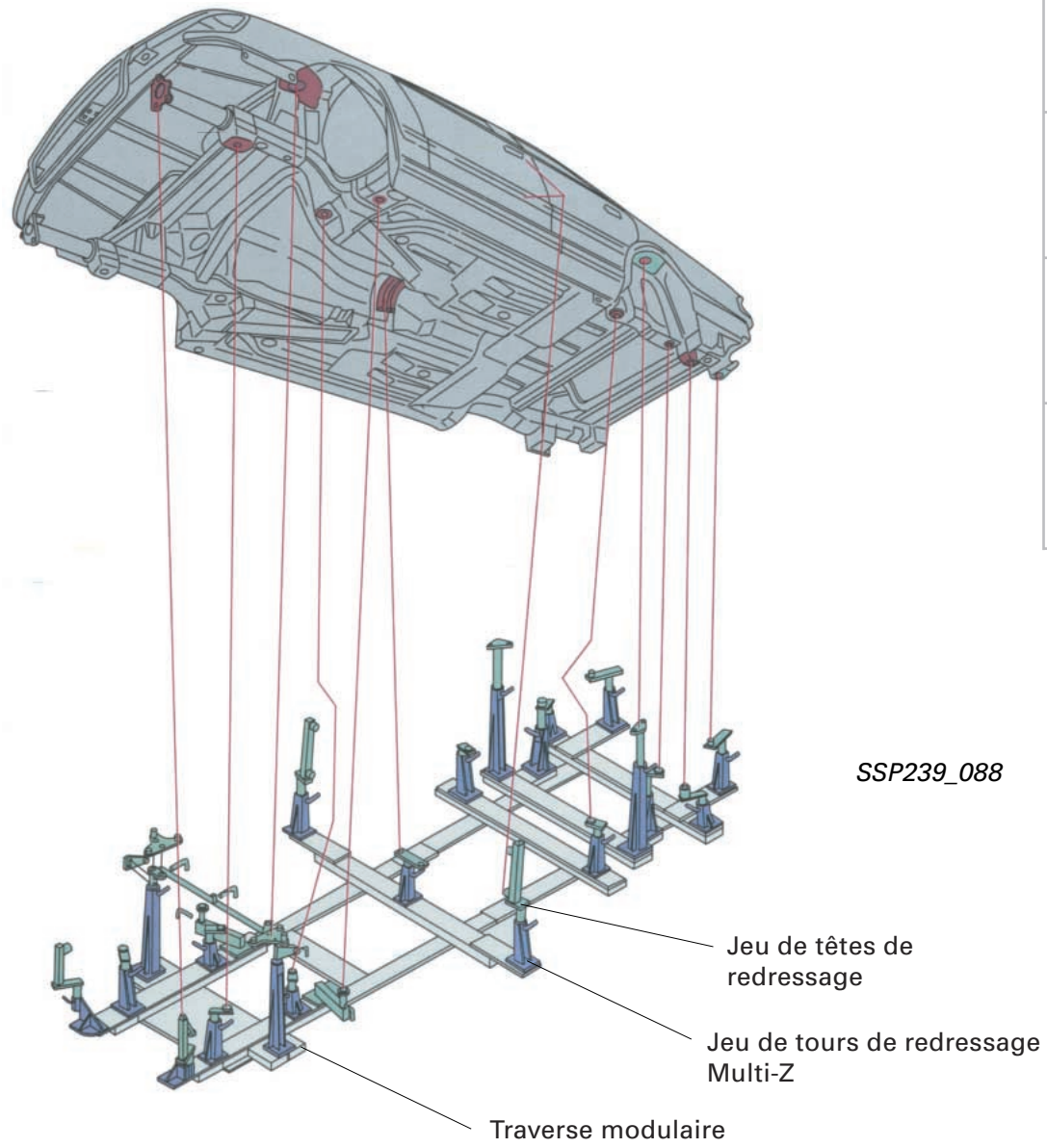
Les points de liaison ne sont montrés que d'un côté pour des raisons optiques.

Jeu de tours de redressage MULTI-Z

Ces pièces permettent la fixation de tous les jeux terminaux spécifiques au véhicule. Aucun outil spécial n'est requis. MULTI-Z est l'auxiliaire le plus moderne en technique de diagnostic et de réparation.

Jeu de traverses modulaires

Les traverses modulaires servent à la fixation des jeux de redressage et sont utilisables pour tous les travaux de diagnostic et de redressage à effectuer.



SSP239_088

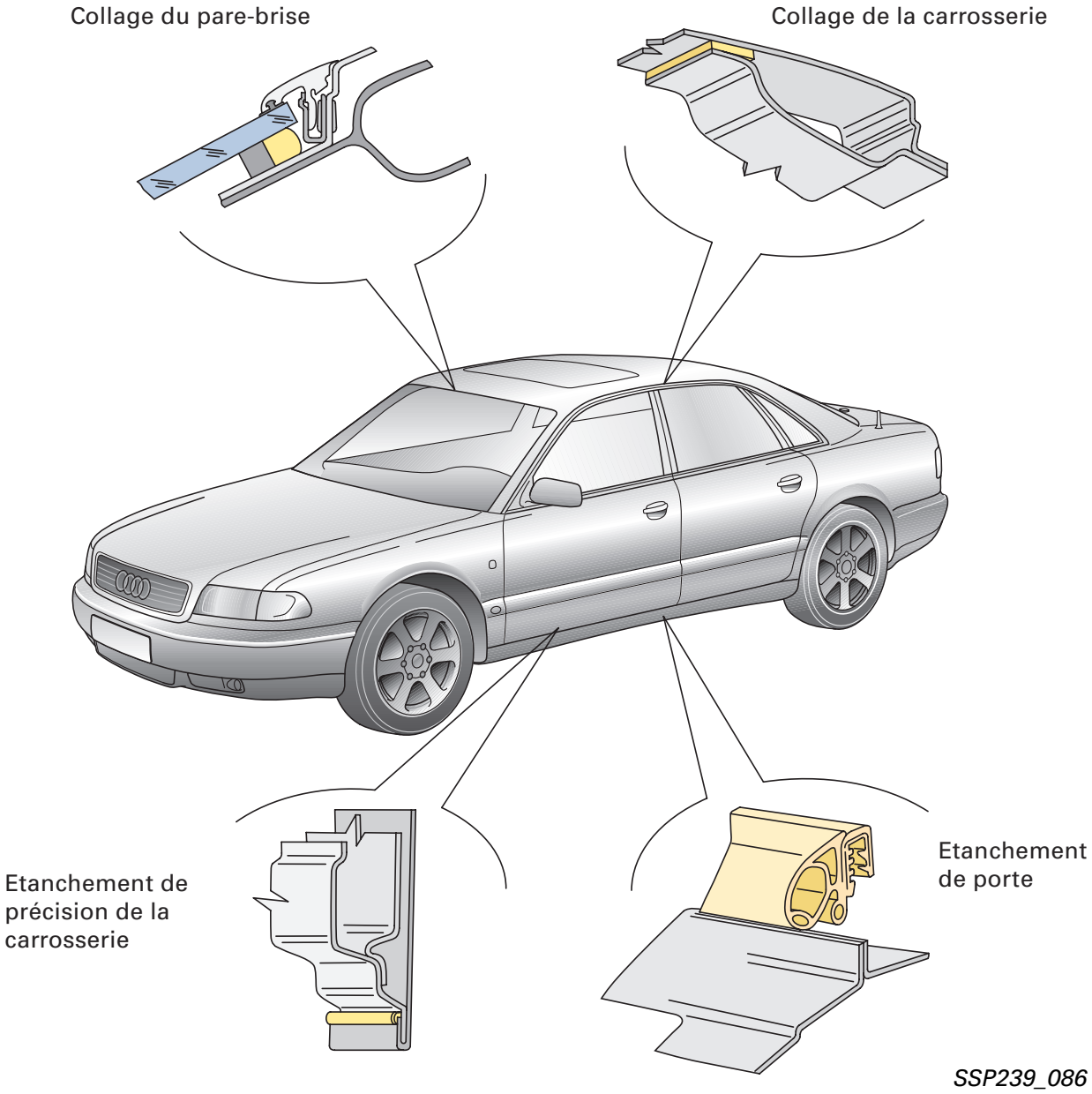
Pièces en caoutchouc et en matière plastique

Sur les pièces en caoutchouc et en matière plastique (EPDM et chloroprène notamment) ainsi que dans le cas des colles, la conductibilité électrique et donc le risque de corrosion de contact sont dus à la présence de suie utilisée comme charge.

C'est pourquoi toutes les pièces en élastomère et en plastique, de même que les colles (collages de la coque nue, étanchement de précision des cordons et colles des glaces) doivent présenter une résistance intérieure spécifique et ne doivent pas être conductrices.

En plus de la désignation relative à la matière, toutes les pièces considérées représentées sur la figure portent, dans la colonne matériau, la remarque :

"Propriétés d'isolement électrique".



Notes

Sous réserve de tous droits et
modifications techniques
AUDI AG
Service I/VK-5
D-85045 Ingolstadt
Fax +49 841/89-36367
040.2810.58.40
Définition technique 02/00
Printed in Germany